

ETIENNE WINAGRASKI

**DINÂMICA DE ECTOMICORRIZAS EM UM PLANTIO ADULTO DE *PINUS TAEDA*  
SUBMETIDO A ADUBAÇÃO E CALAGEM NO MUNICÍPIO DE JAGUARIAIVA, PR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação de Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial a obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Bruno Reissmann  
Co-orientador: Prof. Dr. Celso Garcia Auer  
Co-orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Vargas Motta

CURITIBA  
2014

Ficha catalográfica elaborada por Denis Uezu – CRB 1720/PR  
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Winagraski, Etienne

Dinâmica de ectomicorizas em um plantio adulto de *Pinus taeda* submetido a adubação e calagem no município de Jaguariaíva, PR / Etienne Winagraski. – 2014

68 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Bruno Reissmann

Coorientadores: Prof. Dr. Celso Garcia Auer

Prof. Dr. Antonio Carlos Vargas Motta

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 10/03/2014.

Área de concentração: Silvicultura

1. Solos - Análise. 2. Química do solo - Paraná. 3. Conífera – Nutrição. 4. Micorriza. 5. Teses. I. Reissmann, Carlos Bruno. II. Auer, Celso Garcia. III. Motta, Antonio Carlos Vargas. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 631.4

CDU – 631.42



Universidade Federal do Paraná  
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da  
Madeira  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

**PARECER**  
Defesa n.º 1037

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o(a) mestrando(a) *Etienne Winagraski* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**DINÂMICA DE ECTOMICORRIZAS EM UM PLANTIO ADULTO DE *Pinus taeda* SUBMETIDO À ADUBAÇÃO E CALAGEM NO MUNICÍPIO DE JAGUARIAIVA, PR**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Mestre* em Engenharia Florestal, área de concentração em SILVICULTURA.

*Dr. Emilio Trevisan*  
UEPG – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Primeiro examinador

*Dr. Sergio Gaiad*  
Embrapa Florestas  
Segundo examinador



*Dr. Celso Garcia Auer*  
Universidade Federal do Paraná  
Orientador e presidente da banca examinadora

Curitiba, 10 de março de 2014.

Antonio Carlos Batista  
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

Aos meus pais,  
Aos meus irmãos,  
À minha sobrinha Maria Clara  
Aos que torceram, guiaram, ajudaram e apoiaram (de alguma forma)

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus que em cada desafio mostrou que, com um pouquinho de fé e paciência, poderia vencer, e a todos que Ele, direta ou indiretamente, colocou em meu caminho durante este processo.

Ao professor Carlos Bruno Reissmann pela oportunidade, valiosa orientação, pelas sugestões, idéias e pela amizade demonstrada.

Ao professor Celso Garcia Auer por apoiar a idéia, constante motivação e estímulo e paciência na realização do trabalho, valorosas contribuições, e grande amizade demonstrada.

Ao professor Antonio Carlos Vargas Motta pelo constante empenho e estímulo para elaboração das coletas e das análises e constante disponibilidade. Também agradeço pelo auxílio na interpretação dos dados e valorosas contribuições no decorrer do trabalho.

Ao REUNI, pela concessão da bolsa.

Ao Marcio Carlos Navroski pelos ensinamentos e conselhos durante a realização das análises estatísticas.

A empresa Valor Florestal pela concessão da área experimental e fornecimento de dados relevantes para o desenvolvimento da pesquisa. Ao Julierme Zimmer Barbosa, Carlos Hass, Rúbia Dominschek e Willian Magrim Adam que auxiliaram durante as coletas e idas de campo. Aos estagiários Mateus Ertal e Luciano Antunes da Roza que auxiliaram na análise das amostras.

Ao Museu Botânico de Curitiba, nos nomes do Sr. Osmar dos Santos Ribas, Sr. Tadeu e Sra. Ambra, os quais se disponibilizaram na melhor forma para a identificação dos corpos de frutificação.

À SIMEPAR, nos nomes do Sr. Osmar e Vanessa que disponibilizaram os dados meteorológicos,

Ao Departamento de Pós Graduação Engenharia Florestal.

Ao Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, pela disponibilização dos laboratórios de biogeoquímica e fertilidade. Aos laboratoristas Aldair Marty Munhoz, Flori Roberto Margraf Barberi e Maria Aparecida de Carvalho Santos que sempre estiveram dispostos a auxiliar.

Aos professores do Curso de Pós Graduação em Ciência do Solo, e aos amigos do curso de pós graduação, os quais sempre se mostraram dispostos a ensinar,

auxiliar, sanar dúvidas e que mostraram a importância desta área, pouco lembrada na engenharia florestal.

Ao Pedro Henrique Riboldi Monteiro pela valorosa amizade, conselhos, conversas e auxílio no decorrer dos dois anos.

A Elaine Vivian de Oliva, amiga que compartilhei momentos bons e ruins e sempre me orientou, aconselhou e auxiliou no decorrer desses dois anos.

Aos amigos a Embrapa Florestas pela disponibilização do laboratório de Patologia Florestal. A colega Francine Bontorin. Aos técnicos Davi Veiga e a Caroline Bühner.

A todos os meus colegas e amigos que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho, principalmente a Cristiane Gobel Donha, o Hilbert Blum, a Carla Xavier, a Jeniffer Grabias, a Mariane de Oliveira Pereira e a Sarah Lobato pelo apoio, amizade, conselhos e companheirismo. A Fabiane Murakami, Patricia Basniak.

Minha família, agradeço e retornaria a agradecer por todo o apoio necessário no decorrer deste período. Ao meu pai Celso Winagraski que colocou a mão na massa, madrugou e foi para campo com sorriso no rosto, a minha mãe Mara Cecilia Klinguelfus Winagraski que esteve sempre ao meu lado torcendo, apoiando e também indo a campo quando necessário. Ao meu irmão Philippe Winagraski pelo apoio e ajuda quando necessário e ao meu irmão Diego Winagraski que sempre esteve presente.

*“Segue o teu destino.  
Rega as tuas plantas;  
Ama as tuas rosas.  
O resto é a sombra  
de árvores alheias”  
(Fernando Pessoa)*

*“Foi o tempo que dedicastes à tua rosa que a fez tão importante”  
(Antonie de Saint-Exupéry)*

## RESUMO

Ectomicorrizas são associações simbióticas entre raízes de plantas e fungos. Quando benéficas, garantem melhor nutrição à planta e seu estabelecimento no campo. É uma simbiose essencial para pinus, principalmente em solos com valores baixos pH e baixos teores de nutrientes. A fim de identificar a influência da adubação e da calagem na ocorrência de ectomicorrizas e de corpos de frutificação na serapilheira, avaliou-se a relação dos teores de nutrientes nos horizontes orgânicos e atributos químicos do solo em um plantio comercial adulto de *Pinus taeda*. O estudo foi realizado em um ensaio de omissão de nutrientes instalado em 2008, com aplicação manual a lanço, disposto em delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições. Sete tratamentos foram estabelecidos: T1 - aplicação de N, P, K, Zn, Cu, B, Mo e calcário; T2 - omissão de N, P e K; T3 - omissão de Zn, Cu, B e Mo; T4 - omissão de K; T5 - omissão de Zn; T6 - omissão de calcário; T7 - testemunha (sem adubação). Foram coletados cinco monólitos de serapilheira (10 x 10 cm) em cada parcela para avaliar a presença de ectomicorrizas durante o inverno (agosto/2012) e verão (março/2013). As coletas de corpos de frutificação ocorreram durante o verão (março/2013), o inverno (julho/2013) e a primavera (outubro/2013). A serapilheira foi subdividida em três subhorizontes Ln (*litter* novo), Lv (*litter* velho) e Fh (fragmentação e humus). O solo foi analisado durante o inverno (agosto/2012). Foram determinados os teores de nutrientes nos horizontes orgânicos da serapilheira e na camada superficial do solo (0 - 5 cm), quantificando-se P, K, Ca, Mg, Na, Cu, Mn, Fe, Zn para os subhorizontes orgânicos, N%, C% e relação C/N para o subhorizonte orgânico Fh, e pH, Al, H+Al, Ca, Mg, K, P, C, Cu, Mn, e Zn para solo. As ectomicorrizas foram encontradas em sua maioria no subhorizonte Fh. O tratamento que apresentou maior ocorrência de ectomicorrizas ao longo do ano foi a testemunha, enquanto que a menor foi no tratamento completo (T1). Os nutrientes Ca e Mg apresentaram efeitos antagônicos sobre a ocorrência de ectomicorrizas no solo e na serapilheira. Os nutrientes N e K da serapilheira não apresentaram correlação significativa com ectomicorrizas, diferente do P que apresentou alta correlação significativa (positiva no inverno e negativa no verão). Os micronutrientes não apresentaram correlação significativa com a ocorrência de ectomicorrizas no solo e na serapilheira, com exceção do Mn na serapilheira. No solo, o Al apresentou correlação significativa positiva com a ocorrência de ectomicorrizas. Três gêneros de fungos ectomicorrízicos foram encontrados: *Scleroderma* sp., *Laccaria* sp. e *Amanita* sp. A maior ocorrência de *Scleroderma* sp. foi no final do verão nos tratamentos de menor fertilidade, e enquanto que a maior ocorrência de *Laccaria* sp. foi nos tratamentos em que não foram aplicados micronutrientes. *Amanita* sp. não apresentou padrão específico relacionado com a fertilidade.

**Palavras-chave:** Coníferas, fração orgânica do solo, micorrização, nutrientes.

## ABSTRACT

### DYNAMIC OF ECTOMYCORRHIZAE IN AN ADULT PLANTING OF *PINUS TAEDA* SUBMITTED TO FERTILIZATION AND LIMING IN THE MUNICIPALITY OF JAGUARIAÍVA, PR.

Ectomycorrhizae are symbiotic associations between fungi and plant roots. When beneficial, ensure better nutrition to the plant and establishment in field. This symbiosis is essential for pine, mainly in soils of low pH and low levels of nutrients. In order to identify the influence of fertilization and liming on occurrence of ectomycorrhizas and their fruiting bodies in the litter, we evaluated the relation of the levels of nutrients in organic horizons and chemical soil attributes in a old commercial planting of *Pinus taeda*. The study was conducted in a nutrient omission experiment installed in 2008, with applied manually and broadcasted, arranged in randomized blocks with four replications. Seven treatments were established: T1. application of N, P, K, Zn, Cu, B, Mo e limestone; T2. application of all nutrients with the omission of N, P and K; T3. application of all nutrients with omission of Zn, Cu, B and Mo; T4. application of all nutrients with omission of K; T5. application of all nutrients with omission of Zn; T6. application of all nutrients with the omission of limestone; T7. control (without fertilizer). Five monoliths of litter (10 x 10 cm) were collected in each plot to evaluate the presence of ectomycorrhizae during winter (august/2012) and summer (march/2013). The fruiting bodies were collected during the summer (march/2013), winter (july/2013) and spring (october/2013). Litter was subdivided in three subhorizons: Ln (new litter), Lv (old litter) and Fh (fragments and humus). The soil was analyzed during the winter (august/2012). We determined levels of nutrients in the organic horizons of litter and in the superficial layer of soil (0 – 5 cm), quantifying P, K, Ca, Mg, Na, Cu, Mn, Fe and Zn for all organic subhorizons; N%, C% e relation C/N for organic subhorizon Fh. Ectomycorrhizas were found mostly in the subhorizon Fh; and pH, Al, H+Al, Ca, Mg, K, P, C, Cu, Mn, Fe and Zn for soil. Ectomycorrhizae were found mostly in the organic subhorizon Fh. The treatment that showed more occurrence of ectomycorrhizae during the year was the control, while the lowest was in complete treatment (T1). The Ca and Mg nutrients showed antagonistic effects on occurrence of ectomycorrhize in the soil and in the litter. The N e K nutrients in the litter did not show significant correlation with the occurrence of ectomycorrhizae, different from P that presented high significant correlation (positive in the winter and negative in the summer). Micronutrients did not show significant correlation with the occurrence of ectomycorrhiza in the soil and in the litter, with exception the Mn in the litter. In the soil, the Al showed positive significant correlation with the occurrence of ectomycorrhizae. Three genus of ectomycorrhizal fungi were found: *Scleroderma* sp, *Laccaria* sp. and *Amanita* sp. The more incidence of *Scleroderma* sp. was in the summer in the lower fertility treatments and higher occurrence of *Laccaria* sp. was in the treatments without micronutrients. *Amanita* sp. showed no specific pattern related to fertility.

**Key words:** Conifers, mycorrhizae, nutrients, soil organic fraction.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – CROQUI DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	26
FIGURA 2 – CROQUI DA PARCELA.....	27
FIGURA 3 – A. MONÓLITO DE SERAPILHEIRA COLETADO EM PLANTIO DE <i>PINUS TAEDA</i> . B. SUBHORIZONTE <i>LITTER</i> VELHO (LV) E SUBHORIZONTE <i>LITTER</i> NOVO (LN) OBTIDOS ATRAVÉS DE SERAPILHEIRA. C. SUBHORIZONTE FRAGMENTAÇÃO E HUMUS (FH). D. MONÓLITO DIVIDIDO EM 25 QUADRANTES PARA REALIZAÇÃO AVALIAÇÃO DE ECTOMICORRIZAS.....	29
FIGURA 4 – CORPOS DE FRUTIFICAÇÃO DE <i>SCLERODERMA</i> SP .....	54
FIGURA 5 – CORPOS DE FRUTIFICAÇÃO DE <i>LACCARIA</i> SP.....	55
FIGURA 6 – CORPOS DE FRUTIFICAÇÃO DE <i>AMANITA</i> SP.....	57

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - ESCALA DE AVALIAÇÃO PARA QUANTIFICAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DAS ÉCTOMICORRIZAS NA SERAPILHEIRA DE <i>PINUS TAEDA</i> .....	30
--	----

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - TEMPERATURA, PRECIPITAÇÃO E UMIDADE RELATIVA DO AR MÉDIA DA SEMANA DE COLETA DE AMOSTRAS DO SOLO E DA SERAPILHEIRA DE <i>PINUS TAEDA</i> , JAGUARIAÍVA - PR.....	27
TABELA 2 – TEORES MÉDIOS TOTAIS DE NUTRIENTES OBTIDOS NOS SUBHORIZONTES ORGÂNICOS (LN, LV E FH) DE <i>PINUS TAEDA</i> – JAGUARIAÍVA – PR - INVERNO.....	32
TABELA 3 – OCORRÊNCIA DE ECTOMICORRIZAS EM RAÍZES DA SERAPILHEIRA DE <i>PINUS TAEDA</i> VERIFICADA EM ENSAIO DE OMISSÃO DE NUTRIENTES - JAGUARIAÍVA - PR – INVERNO.....	37
TABELA 4 – CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE O ÍNDICE DE COLONIZAÇÃO DE ECTOMICORRIZAS EM <i>PINUS TAEDA</i> NO SUBHORIZONTE ORGÂNICO FH E OS TEORES TOTAIS DE NUTRIENTES NA SERAPILHEIRA – JAGUARIAÍVA - PR – INVERNO.....	38
TABELA 5 – TEORES DE N, C E RELAÇÃO C/N NO SUBHORIZONTE ORGÂNICO FH – JAGUARIAÍVA – PR - INVERNO.....	40
TABELA 6 – TEORES TOTAIS DE NUTRIENTES OBTIDOS NOS SUBHORIZONTES ORGÂNICOS (LN, LV E FH) DE <i>PINUS TAEDA</i> – JAGUARIAÍVA – PR – VERÃO.....	41
TABELA 7 – OCORRÊNCIA DE ECTOMICORRIZAS EM RAÍZES DA SERAPILHEIRA DE <i>PINUS TAEDA</i> VERIFICADA EM ENSAIO DE OMISSÃO DE NUTRIENTES - JAGUARIAÍVA - PR – VERÃO.....	44
TABELA 8 – CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE O ÍNDICE MÉDIO DE COLONIZAÇÃO DE ECTOMICORRIZAS EM <i>PINUS TAEDA</i> NO SUBHORIZONTE ORGÂNICO FH E OS TEORES TOTAIS DE NUTRIENTES NA SERAPILHEIRA – JAGUARIAÍVA – PR - VERÃO ..	45
TABELA 9 – TEORES DE N, C E RELAÇÃO C/N NO SUBHORIZONTE ORGÂNICO FH - VERÃO.....	46
TABELA 10 – ATRIBUTOS QUÍMICOS MÉDIOS ENCONTRADOS EM CADA TRATAMENTO (0 - 5 CM) – JAGUARIAÍVA – PR .....	47
TABELA 11 – CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE O ÍNDICE MÉDIO DE COLONIZAÇÃO POR FUNGOS ECTOMICORRÍZICOS NO SUBHORIZONTE ORGÂNICO FH E OS ATRIBUTOS QUÍMICOS OBTIDOS POR MEIO DE ANÁLISE DE SOLO (0 – 5 CM) – JAGUARIAÍVA - PR .....	50

TABELA 12 – ESPOROCARPOS ECTOMICORRÍZICOS EM TRÊS ÉPOCAS DO ANO EM TESTE DE OMISSÃO DE NUTRIENTES DE <i>P. TAEDA</i> COM DEZ ANOS DE IDADE – JAGUARIAÍVA - PR.....	52
TABELA 13 – QUANTIDADE DE CORPOS DE FRUTIFICAÇÃO DE <i>SCLERODERMA</i> SP. OBSERVADOS EM CADA TRATAMENTO POR ÉPOCA DE COLETA EM ENSAIO DE OMISSÃO DE NUTRIENTE EM <i>PINUS TAEDA</i> – JAGUARIAÍVA - PR.....	54
TABELA 14 – QUANTIDADE DE CORPOS DE FRUTIFICAÇÃO DE <i>LACCARIA</i> SP. OBSERVADOS EM CADA TRATAMENTO POR ÉPOCA DE COLETA EM UM ENSAIO DE OMISSÃO DE NUTRIENTE EM <i>PINUS TAEDA</i> – JAGUARIAÍVA - PR.....	56
TABELA 15 – QUANTIDADE DE CORPOS DE FRUTIFICAÇÃO DE <i>AMANITA</i> SP. OBSERVADOS EM CADA TRATAMENTO POR ÉPOCA DE COLETA EM UM ENSAIO DE OMISSÃO DE NUTRIENTE EM <i>PINUS TAEDA</i> – JAGUARIAÍVA - PR.....	58

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2 OBJETIVO</b> .....	15
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	16
3.1 FLORESTAS PLANTADAS NO BRASIL .....	16
3.2 SILVICULTURA DE PINUS .....	16
3.3 MICORRIZAS .....	17
3.3.1 Ectomicorrizas .....	18
3.3.2 Relações entre as ectomicorrizas e a nutrição da planta.....	21
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	25
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	25
4.2 ANÁLISE QUÍMICA DA SERAPILHEIRA E DO SOLO .....	28
4.3 AMOSTRAGEM E ANÁLISE DE ECTOMICORRIZAS EM SERAPILHEIRA .....	28
4.4 AMOSTRAGEM E ANÁLISE DOS CORPOS DE FRUTIFICAÇÃO .....	31
4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	31
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	32
5.1 INFLUÊNCIA DOS NUTRIENTES NA SERAPILHEIRA NO INVERNO ...	32
5.2 FREQUÊNCIA DE ECTOMICORRIZAS E OS TEORES DE NUTRIENTES EM SERAPILHEIRA DE <i>PINUS TAEDA</i> – INVERNO .....	36
5.3 INFLUÊNCIA DOS NUTRIENTES NA SERAPILHEIRA NO VERÃO.....	40
5.4 FREQUÊNCIA DE ECTOMICORRIZAS E OS TEORES DE NUTRIENTES EM SERAPILHEIRA DE <i>PINUS TAEDA</i> – VERÃO .....	44
5.5 INFLUÊNCIA DOS NUTRIENTES NA FREQUÊNCIA DE ECTOMICORRIZAS E AS PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO.....	46
5.6 INFLUÊNCIA DE NUTRIENTES NA OCORRÊNCIA DE ESPOROCARPOS EM TRÊS ÉPOCAS (VERÃO, INVERNO E PRIMAVERA).....	51
5.6.1 <i>Scleroderma</i> sp .....	53
5.6.2 <i>Laccaria</i> sp. ....	55
5.6.3 <i>Amanita</i> sp.....	57
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	59
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	60

## 1 INTRODUÇÃO

Os plantios de *Pinus* são comercialmente importantes para o Brasil, totalizando 23,4 % das áreas plantadas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, 2013). Esses plantios se desenvolvem em sítios extremamente pobres e normalmente não adubados, resultando em produção abaixo do satisfatório (SCHNEIDER, 2011). Por este motivo, o cultivo de espécies de pínus no Brasil depende da associação de fungos ectomicorrízicos no sistema radicular, para maior sobrevivência e crescimento inicial da muda em campo (TOMAZELLO-FILHO; KRÜGNER, 1980).

A competitividade nacional florestal vem perdendo força devido ao aumento da concorrência mundial e de políticas nacionais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, 2013). Esses fatores, juntamente com a pressão internacional para a produção ecologicamente comprovada foram responsáveis pela procura de formas de produção sustentáveis de madeira, a fim de garantir a expansão de mercado nacional e internacional. Uma das opções para aumentar a produtividade nos plantios é o uso de produtos biotecnológicos baseados em bactérias e em fungos micorrízicos, porém as informações existentes sobre estas técnicas e o efeito dos mesmos na floresta ainda são escassos no uso de espécies florestais comerciais usadas no Brasil.

As micorrizas são encontradas em diferentes tipos de solo e vegetação. Cerca de 90 % das plantas superiores existentes no planeta formam micorrizas (SOUZA *et al.*, 2003). Estes fungos maximizam a absorção de água e nutrientes, como o P, N e K. A simbiose garante tolerância ao estresse hídrico, à acidez, às temperaturas altas e à toxidez do solo. As associações micorrízicas podem variar de acordo com práticas de manejo de mudas, temperatura, umidade, matéria orgânica, nutrientes, pH e aeração do solo (BELLEI; CARVALHO, 1992; SOUZA *et al.*, 2003). Dentre os diferentes tipos de micorrizas estão as ectomicorrizas, presentes em coníferas e folhosas de clima temperado, que se caracterizam por uma densa camada de micélio na superfície da raiz de coloração variável (BONNASSIS, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2010) e são encontradas nas principais espécies florestais plantadas.

A serapilheira formada em plantios comerciais de pínus pode ser um excelente indicador no estabelecimento de sítios florestais ao analisar altura, espessura e volume. Em geral, a atividade microbiana é superior na serapilheira devido à

disponibilidade de nutrientes e a qualidade de carbono em que se encontram (CARVALHO *et al.*, 2008). Os horizontes superficiais do solo é a principal região de ocorrência de raízes finas em pínus, as quais se associam com fungos ectomicorrízicos.

Os principais estudos realizados com ectomicorizas foram feitos para identificar os fungos micorrízicos mais eficientes, quanto aos aspectos nutricionais para espécies silviculturais, em condições de viveiro. Contudo, são poucos os que têm explicado os mesmos eventos em condições de campo no Brasil (BONNASSIS, 2007).

O presente estudo propôs a hipótese de que a simbiose entre fungos micorrízicos e árvores adultas de pínus têm diferentes respostas em função da adubação e da época do ano. Desse modo buscou-se avaliar a dinâmica de ectomicorizas em diferentes horizontes da serapilheira e do solo em um ensaio de nutrientes aplicado em plantio comercial de *P. taeda*, identificando-se os fungos presentes.

## 2 OBJETIVO

Avaliar a influência da adubação, calagem e teores de nutrientes nos horizontes orgânicos sobre a frequência de fungos ectomicorrízicos e respectivos corpos de frutificação em serapilheira em plantio comercial de *Pinus taeda*.

### 2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a influência da omissão de nutrientes na população de fungos ectomicorrízicos em serapilheira e respectivos corpos de frutificação de um plantio adulto de *Pinus taeda* em duas épocas do ano;
- Avaliar as propriedades químicas da serapilheira e do solo (0-5 cm) sobre existentes no solo e na serapilheira e relações com o desenvolvimento das ectomicorrizas;
- Identificar as espécies de esporocarpos até o nível de gênero;

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 FLORESTAS PLANTADAS NO BRASIL

Reflorestamentos de pínus e eucalipto possuem rápido crescimento e destacável produtividade (JUVENAL; MATTOS, 2002). Atualmente, existe uma grande demanda mundial por madeira certificada e celulose, o que aliados ao desenvolvimento de florestas no âmbito do desenvolvimento limpo por meio de sequestro de carbono e da expansão de sistemas agrosilvipastoris resultam na necessidade de buscar novas tecnologias na produção e no estabelecimento de uma floresta sustentável. Apesar da demanda, o desenvolvimento florestal nacional vem passando por desafios, devido à queda da competitividade florestal nacional e as políticas econômicas nacionais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, 2013).

Os atributos químicos e físicos dos substratos de mudas e dos solos passaram a ser avaliados a fim de identificar a capacidade produtiva de reflorestamentos e possíveis impactos no solo (SCHOENHOLTZ *et al.*, 2000).

Os solos brasileiros são em sua maioria altamente intemperizados, com baixos valores de pH e altos teores de alumínio e ferro. Estas características limitam a produção de determinadas culturas, encarecendo-a devido à necessidade do uso de insumos agrícolas e atividades com o manejo do solo (CARDOSO *et al.*, 2010).

Apesar do conhecimento de biologia e ecologia microbiana em florestas plantadas ainda ser escasso, o conhecimento acerca da microbiologia em solos florestais têm se mostrado excelente para o aproveitamento das associações simbióticas do solo principalmente ao relacionar as mesmas associações na produção de florestas plantadas com o uso mínimo de fertilizantes.

#### 3.2 SILVICULTURA DE PINUS

O pínus possui bom crescimento e sua madeira é matéria-prima para a produção de papel e celulose, construções, laminados e móveis, energia, e, para algumas espécies, a produção de resina (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1997a). Possui grande destaque na produção nacional, sendo cultivada principalmente na Serra Gaúcha e Planaltos Catarinense e Paranaense

(LORENZI *et al.*, 2003; LOPES, 2013). Entretanto, o cultivo intensivo de pínus, sem os cuidados devidos de conservação do solo, a produtividade declina rapidamente tanto na rotação atual como na instalação de novas espécies florestais ou/e agrícolas (ZOBEL, 1983).

*Pinus taeda* é natural do sul e do sudeste dos Estados Unidos, em regiões de clima úmido e temperado com verões longos e quentes e invernos suaves (SHIMIZU; SEBBENN, 2008). A madeira utilizada para processamento industrial possui alborno amarelo, sendo recomendada para uso em construção de barcos, postes, dormentes e construção civil (LORENZI *et al.*, 2003). O pínus é pouco exigente quanto à fertilidade do solo principalmente nas primeiras rotações, porém o seu desenvolvimento dependerá das condições edáficas do solo, fatores observados por Balloni (1984), Menegol (1991) e Laso Garicoits (1990).

Até 2012, plantios de pínus ocupavam 23,4 % de uma área total de 6.664.812 ha utilizados para reflorestamento. O estado do Paraná é o terceiro estado com maior produção florestal, na qual o pínus ocupa uma área de 619.731 ha em relação a 197.835 ha de eucalipto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, 2013).

Uma das alternativas para garantir a produção de pínus em áreas de estresse biótico e abiótico está na simbiose entre as raízes das plantas com fungos micorrízicos. Estes fungos quando associados permitem melhor desenvolvimento geral da planta, havendo correlação entre a maior produção de mudas e a proporção de inóculo de fungos micorrízicos (INOUE, 1972).

### 3.3 MICORRIZAS

Micorrizas são associações de fungos e raízes de plantas. Tais fungos são simbióticos mutualistas, podendo ser facultativos ou obrigatórios (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Atualmente, as micorrizas são classificadas em sete tipos distintos: arbuscular, ectomicorrizas, ectoendomicorrizas, arbutoide, monotropoide, ericoide e orquidoide (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

As micorrizas podem ser encontradas nos mais diversos ambientes, desde os pólos até as florestas tropicais úmidas e desertos (MELLO, 2006). Cerca de 90 % das plantas superiores conhecidas no planeta formam micorrizas (SOUZA *et al.*, 2003).

Cabe ressaltar que nem todos os fungos que colonizam a rizosfera são micorrízicos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

As respostas das micorrizas ao crescimento da planta podem ser positivas ou negativas, dependendo da relação fungo-planta e condições edáficas e ambientais (BELLEI; CARVALHO, 1992; JOHNSON *et al.*, 1997). Estes fungos estão sujeitos às variações de temperatura, de umidade, do teor de matéria orgânica, da presença de nutrientes, do valor de pH do solo e das práticas de manejo em viveiro. Mesmo assim, diferentes solos podem favorecer algumas espécies, comprometendo ou facilitando a diversidade de fungos de um dado local (MELLO, 2006). Porém, as micorrizas estarão na maioria ausentes em solos extremamente secos, salinos, inundados, ou onde existam características de fertilidade baixa (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

O micélio do fungo micorrízico, associado à raiz, dissemina-se no solo de forma difusa, alcançando maior área de exploração em relação à raiz sem associação, permitindo maior absorção de nutrientes, maior longevidade, maior resistência a planta contra elementos tóxicos e maior resistência a planta a condições extremas situadas no solo (BONNASSIS, 2007; BELLEI; CARVALHO, 1992). Os fungos micorrízicos também podem proteger a raiz da planta contra patógenos provenientes da rizosfera (SMITH; READ, 1997).

Os fungos micorrízicos permitem aumento na relação de crescimento da planta com nutrientes que possuem baixa mobilidade e se movem por difusão (MARSCHNER, 1995), como no caso de P, Zn, Cu e N quando em forma de amônio (visto esse ser menos móvel que o N em forma de nitrato) (GEORGE *et al.*, 1992). A absorção destes nutrientes ocorrerá pela atuação de hifas e rizomorfias (VAN TICHELEN *et al.*, 2001). A interação micorrízica também diminuirá a toxidez de Al (SIQUEIRA *et al.*, 1985).

A maioria dos estudos envolve o desenvolvimento desses microorganismos em viveiro e em curto prazo, sendo raros os estudos detalhados e de longa duração em campo (BONNASSIS, 2006).

### 3.3.1 Ectomicorrizas

Os fungos micorrízicos ectotróficos são em sua maioria basidiomicetos que penetram no córtex radicular intercelularmente (EPSTEIN; BLOMM, 2006; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006), formando um manto fúngico que recobre a estrutura radicular por

meio de uma rede de hifas também denominada de Rede de Hartig (HARLEY; SMITH, 1983; MARSCHNER, 1995; EPSTEIN; BLOMM, 2006). Produzem estruturas externas compostas por rizomorfos que realizarão a conexão com o solo e a formação de corpos de frutificação de fungos micorrízicos (MARSCHNER, 1995; SMITH; READ, 1997).

Atualmente mais de 500 espécies formam esta simbiose e são encontrados nas divisões Basidiomycota, Ascomycota, Zygomycota e Deuteromycota (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Os fungos ectomicorrízicos ocorrem em aproximadamente 5 % das plantas, porém estas são as mais importantes economicamente para o setor florestal (BELLEI; CARVALHO, 1992).

Simples em serem identificadas, geralmente por alterações visuais nas raízes colonizadas e pela presença de corpos de frutificação, possuem hábitos hipógeos ou epígeos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006), promovendo benefícios na absorção, translocamento e utilização de nutrientes e água, no crescimento das plantas, no favorecimento no estabelecimento em áreas novas além de servirem como fonte de alimento para organismos da cadeia trófica florestal, na proteção das raízes contra ataque de patógenos, na proteção ao estresse ambiental, e na proteção da planta quando em excesso de alumínio e metais pesados (SMITH; READ, 1997).

A associação ectomicorrízica ocorrerá de acordo com a habilidade dos fungos e de seus metabólitos em transferir nutrientes (orgânico e inorgânico) e translocá-los à raiz (OLIVEIRA, 2004). Espécies florestais em que ocorre a simbiose ectomicorrízica forma-se um sistema radicular distinto com raízes laterais com menos pelos radiculares, curtos e grossos (ZONTA *et al.*, 2006). A diferença entre as ectomicorrizas também está na capacidade de, ao colonizar as raízes, aumentar a eficiência ou não da promoção do crescimento da planta (OLIVEIRA, 2004), sendo esta interação altamente complexa (TOMAZELLO FILHO; KRÜGNER, 1982), podendo a colonização das micorrizas ser uniforme ou não (EPSTEIN; BLOMM, 2006).

As ectomicorrizas são governadas por uma complexa interligação que envolve a fisiologia da planta hospedeira, a fisiologia do fungo e fatores ambientais ecológicos (MEYER, 1974). Com a colonização fúngica, a função dos pelos radiculares passarão a ser exercidos pelas hifas. As hifas do manto influenciam na absorção de água e na absorção de nutrientes, sintetizam compostos como glicogênio, polifosfatos e proteínas (KASUYA *et al.*, 2010).

A germinação de esporos ectomicorrízicos dependerá de certa especificidade em relação à planta hospedeira (KASUYA *et al.*, 2010; OLIVEIRA, 2010), geralmente apresentada ao nível de gênero, mas podendo ocorrer entre isolados de mesma espécie fúngica (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Apesar de apresentarem alta diversidade de fungos em relações aos fungos micorrízicos arbusculares, as ectomicorrizas apresentam baixa diversidade de hospedeiros, sendo predominantes nas famílias Pinaceae, Fagaceae, Betulaceae, Salicaceae, Myrtaceae e Dipterocarpaceae (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). A especificidade de fungos ectomicorrízicos ocorrerá em nível de gênero, e, em alguns casos, ao nível de espécie e isolado (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

As frutificações dos fungos ectomicorrízicos podem ser epígeas ou hipógeas. Quando epígeas, as frutificações ocorrerão acima da superfície do solo sendo a identificação realizada apenas por meio de observação de frutificações macroscópicas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Também, são a partir dessas frutificações que se encontram a maior parte dos estudos de levantamento de ectomicorrizas em campo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Dentre os principais fungos ectomicorrízicos relacionados ao gênero *Pinus* estão os gêneros *Chondrogaster*, *Decomyces*, *Hysterangium*, *Timgrovea*, *Amanita*, *Boletus*, *Hebeloma*, *Lycoperdon*, *Rhizopogon*, *Scleroderma*, *Suillus* e *Thelephora* (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

As associações ectomicorrízicas também apresentam o fenômeno da sucessão em função da idade da planta, Assim, os povoamentos mais velhos terão espécies diferentes em relação a um povoamento inicial nas mesmas condições ambientais (DESCHAMPS *et al.*, 1997). Os fungos de estágio mais tardios da floresta são em geral altamente específicos e mais diversos em relação aos fungos de estágio inicial. Isto está relacionado à capacidade de fungos de estágio tardio ter maior demanda de carboidratos e preferência por nutrientes na forma orgânica, encontrado na serapilheira (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Este tipo de simbiose fungo-hospedeiro também apresenta relação entre a taxa de fotossíntese (HARLEY; SMITH, 1983) e a produção de corpos de frutificação (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Há dificuldades na transferência de tecnologia no que se refere à produção de fungos ectomicorrízicos, seu desenvolvimento e sua fisiologia, visto que os ensaios são realizados tanto em condições de laboratório, no viveiro e no campo e a resposta do fungo ser dependente do ambiente em que se encontra o estudo (MEYER, 1974).

Outros fatores que também interferem diretamente no desenvolvimento do fungo ectomicorrízico são a população microbiana do ambiente, o fotoperíodo, a estação do ano, as propriedades químicas do solo e o tipo de solo (MEYER, 1974).

A formação de ectomicorrizas em campo tende a ser menor em épocas de maior quantidade de chuva (verão), visto não haver necessidade de obtenção de carboidratos da planta e fornecimento de nutrientes para a planta, já que ambos estarão disponíveis em grande quantidade (SILVA, 1983).

A importância dessas associações simbióticas é demonstrada no momento de implantar determinadas espécies fora de seu local de origem, onde não há fungos micorrízicos específicos, que resulta em seu fracasso, como o citado por Vozzo e Hackskaylo (1971), em que observaram fracassos ao introduzir espécies de pinus em Porto Rico, devido ausência de fungos micorrízicos adaptados a região. Situação semelhante ocorreu na introdução de pinus em áreas onde originalmente não haviam florestas nos Estados Unidos (MARX; ARTMAN *et al.*, 1978). Outras ocorrências de dificuldade de implantação de pinus destacaram-se nas Filipinas (BAKSHI; KUMAR, 1968), Nova Zelândia (RAWLINGS, 1958), Costa Rica (CONDORI, 1964) e Argentina (TAKACS, 1964).

Ainda assim, a maioria dos estudos envolvem fungos ectomicorrízicos e *Pinus taeda* em viveiro. Quando associados a campo, destacam-se principalmente estudos baseados em ocorrência de esporocarpos em reflorestamentos. Das observações realizadas em viveiros e plantações de pinus destacaram-se a ocorrência de fungos ectomicorrízicos como *Thelephora terrestris* e espécies dos gêneros *Scleroderma*, *Suillus* e *Rhizopogon* (TOMAZELLO FILHO; KRÜGNER, 1982).

### 3.3.2 Relação entre as ectomicorrizas e a nutrição de plantas

As árvores do gênero *Pinus* necessitam da presença de ectomicorrizas para sua estabilidade, tanto em campo como em viveiro (OLIVEIRA, 2007). A ocorrência de fungos ectomicorrízicos em pinus permitiu o estabelecimento dessa espécie em climas pouco constantes e solos com baixa fertilidade, resultando em uma estratégia de sobrevivência (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). A ausência da simbiose micorrízica entre a raiz e pinus pode resultar em baixa sobrevivência das mudas e na redução do crescimento (TOMAZELLO FILHO; KRÜGNER, 1982).

Os fungos ectomicorrízicos realizam sua colonização em raízes finas. Estas raízes têm decomposição e reciclagem mais rápida que outras formas de matéria orgânica, resultando em 48 % da matéria orgânica em solo florestal.

A serapilheira é uma das principais formas de transferência de nutrientes no ciclo biogeoquímico (POGGIANI; MONTEIRO JÚNIOR, 1990). Este processo dependerá, entre outros fatores, da época do ano, espécie e atividade de microorganismo (FONSECA *et al.*, 1993).

A formação de ectomicorrizas em campo tende a ser menor em épocas de maior quantidade de chuva (verão), visto não haver necessidade de obtenção de carboidratos da planta e fornecimento de nutrientes para a planta, já que ambos estarão disponíveis em grande quantidade (SILVA, 1983).

A associação micorrízica está diretamente relacionada com estado nutricional da planta hospedeira (MEYER, 1974; EPSTEIN; BLOMM, 2006). Em solos onde os nutrientes se tornam mais escassos, a competição entre as raízes das plantas aumentará, permitindo que plantas atraiam associações simbióticas micorrízicas a fim de atender tais exigências nutricionais (EPSTEIN; BLOMM, 2006). Basidiocarpos de *Pisolithus tinctorius* foram observados em ambientes de elevada acidez em áreas de mineração (LAMPKY; PETERSON, 1963).

Sob limitações nutricionais, o micélio externo de fungos micorrízicos aumenta a estabilidade de agregados no solo e a relação água-planta (CARDOSO *et al.*, 2010), permitem o aumento da produção em solos marginais, além de serem facilitadores de recuperação em áreas degradadas, permitindo uma silvicultura e agricultura com redução do uso de insumos agrícolas e, em troca, obtêm aminoácidos e vitaminas provenientes da planta hospedeira (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

É importante ressaltar que a deficiência moderada de nutriente promove a infecção de fungos micorrízicos, enquanto que em solos mais férteis o fungo continuará a obter carboidratos, porém não beneficiará a planta hospedeira, resultando em liberação de substâncias antimicrobianas pela planta, visto que esta passa a considerar o fungo micorrízico como corpo estranho e patógeno (EPSTEIN; BLOMM, 2006).

Apesar da formação de ectomicorrizas estar geralmente associada a solos de baixa fertilidade, principalmente ao se tratar do nitrogênio e do fósforo, Meyer (1974) alertou ser errado considerar a manifestação desses fungos ligada somente às áreas pobres em nutrientes, mas sim à necessidade da planta em desenvolver o sistema

radicular a qual secretará substâncias que permitirá a associação. Fungos ectomicorrízicos também podem ser derivados da decomposição da serapilheira (LUNDEBERG<sup>1</sup>, 1970 *apud* MEYER, 1974).

A associação da planta com micorriza é reconhecida pela sua importância na nutrição do P e o uso do mesmo quando em excesso pode ter influência negativa sobre população de micorriza (CASTELLANO; MOLINA, 1989; BELLEI; CARVALHO, 1992). A maioria dos estudos está voltada para a absorção de fósforo em que o nutriente é difundido pela hifa até a rede de Hartig por meio de fosfato inorgânico (EPSTEIN; BLOMM, 2006). A concentração de P dependerá do fungo e da planta associada (KASUYA *et al.*, 2010). Assim, se o solo possui P suficiente, as ectomicorrizas passam a atuar como dreno de fotossintatos (HARLEY, 1978). Porém, espécies colonizadas promoverão maior absorção de P do que plantas não colonizadas por ectomicorrizas (SANTOS, 2006).

Os nutrientes mais absorvidos pelos fungos micorrízicos são especialmente o N, P e K do solo e da serapilheira. Moreira e Siqueira (2006) relataram que a absorção de N pelos fungos micorrízicos resultou em 50 a 60 % de N total absorvido pela planta, enquanto que para P e K, os fungos micorrízicos são responsáveis pela absorção de 80 – 90 % de P e 60 – 70 % respectivamente, do total absorvido pela planta. Os nutrientes absorvidos pelas micorrizas se acumulam nos tecidos do fungo para então serem transportados para a planta (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

As micorrizas irão modificar a absorção de nitrogênio na solução do solo (EPSTEIN; BLOMM, 2006). Plantas com ectomicorrizas irão absorver mais N do que aquelas sem fungo, sendo que o N passe a ser absorvido na forma de  $N-NH_4^+$ .

Ashford *et al.* (1999) observaram que altos teores de K e P se concentraram na rede de Hartig e nos vacúolos das células fúngicas de *Pisolithus tinctorius* em *Eucalyptus pilularis*. Fungos micorrízicos podem ser responsáveis pela absorção de até 5 % de K da planta (JENTSCHKE *et al.*, 2000). Quando aplicado em áreas de baixo pH, a absorção de K pelas ectomicorrizas é reduzido (JONGBLOED; BORST-PAUWELS, 1992).

As hifas e rizomorfas absorvem e proporcionam altos teores de Ca, visto sua presença e na parede celular do fungo (COSTA, 2002; WALLANDER *et al.*, 2002). No caso do Mg, este ficará acumulado no micélio para posterior absorção pela planta

---

<sup>1</sup> Lundeberg, G. Utilization of various nitrogen sources, in particular bound soil nitrogen, by mycorrhizal fungi. **Stud Forest Suec**, v. 79, p. 1 – 95. 1970.

(WALLANDER *et al.*, 2002), sendo responsáveis pela absorção de até 4 % do Mg absorvido pela planta (JENTSCHKE *et al.*, 2000).

As ectomicorrizas também possuem papéis na biorremediação de metais pesados no solo como o Cd, o Pb, Cu, Zn, Ni entre outros, retirando do solo e impedindo que esses sejam absorvidos pelas raízes ficando retidos no micélio do fungo (BERTOLAZI *et al.*, 2010). Micronutrientes em alta densidade (5 a 6 g.m<sup>-3</sup>) e alta concentração podem causar toxidez a planta (SANTOS, 2005). Em áreas contaminadas com micronutrientes de alta densidade, ou metais pesados, fungos ectomicorrízicos permitem que esta toxidez não atinja a planta. Em estudo com fungo *Pisolithus microcarpus*, verificou-se que o mesmo se mostrou tolerante ao Mn, provocando um aumento na atividade de enzimas antioxidativas do fungo, indicando um estresse oxidativo do mesmo, estimulando o crescimento do mesmo em mudas de eucalipto quando em contato com altos teores de Mn (CANTON, 2012).

As ectomicorrizas também estão relacionadas com impactos na dinâmica de carbono no solo (KASUYA *et al.*, 2010), sendo responsáveis por 20 a 25 % da respiração das raízes, sendo um grande dreno de C, estimado em aproximadamente 15 % da fotossíntese. A associação simbiótica aumentará a assimilação de CO<sub>2</sub> e as perdas devidas à respiração das raízes e hifas sendo necessária produção de C equivalente a 450 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> resultando em 10 % da produção mundial de madeira (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A micorrização aumentará a assimilação de CO<sub>2</sub>, porém a respiração das raízes e das hifas alterará os reservatórios de carbono (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). A biomassa, os esporóforos e o micélio serão responsáveis pela transformação de 50 % do C reciclado em floresta de coníferas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O ensaio foi instalado no município de Jaguariaíva - PR (24° 14' 16" S e 49° 43' 41" W, altitude de 850 m), na região fitogeográfica dos Campos Gerais, segundo planalto do Paraná com relevo suave e ondulado. Os solos da região caracterizam-se pelos baixos valores de pH e de teores de bases trocáveis e elevada saturação por alumínio (BATISTA, 2011).

O clima da região, de acordo com classificação de Köppen, encontra-se em uma área de transição entre o Cfa (subtropical) e o Cfb (temperado), com precipitações médias de 1.500 mm, temperaturas médias entre 17 e 18 °C, umidade relativa média de 75 % e cerca de 12 geadas médias no ano (CRUZ, 2007).

No ano de 2008, um ensaio de omissão de nutrientes foi instalado em um talhão de reflorestamento de *Pinus taeda* com cinco anos, implantado no ano de 2003, da empresa Valor Florestal Gestão de Ativos Florestais, em área com solo classificado como Latossolo vermelho amarelo álico típico A moderado com textura arenosa/média profundo e relevo suave ondulado. Um inventário preliminar indicou baixa produtividade e ocorrência de amarelecimento das acículas. Para analisar o possível efeito limitante causado pela deficiência dos elementos K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, foi realizado o ensaio de omissão de nutrientes (BATISTA, 2011). Este ensaio foi selecionado para o estudo da dinâmica de ectomicorrizas em *Pinus taeda*, instalado nas coordenadas geográficas: 24° 13' 29,13" S e 49° 36' 21,12" W (HASHIMOTO, 2011).

A área em que foi realizado o ensaio possuía vegetação natural (cerrado e campo nativo) seguido então de plantio de eucalipto. Somente no ano de 2003 foi implantado o reflorestamento de *Pinus taeda*. Na mesma área não houve uso de corretivos e fertilizantes desde a implantação do eucalipto.

O ensaio de omissão de nutrientes foi montado em delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições (blocos) contendo sete tratamentos: tratamento completo (aplicação de macronutrientes, micronutrientes e calagem), tratamento menos macro (tratamento completo com a omissão dos macronutrientes N, P, K), tratamento menos micro (tratamento completo com omissão dos micronutrientes Zn, Cu, B e Mo), tratamento menos K (tratamento completo com omissão de K), tratamento menos Zn (tratamento completo com omissão Zn), tratamento com

omissão menos calagem e testemunha (sem aplicação dos tratamentos). Cada tratamento correspondeu a uma parcela com 400 m<sup>2</sup> e espaçamento entre plantas de 3 x 2 m (SCHNEIDER, 2011). Cada parcela foi composta por 16 árvores úteis e uma bordadura dupla (FIGURA 1).

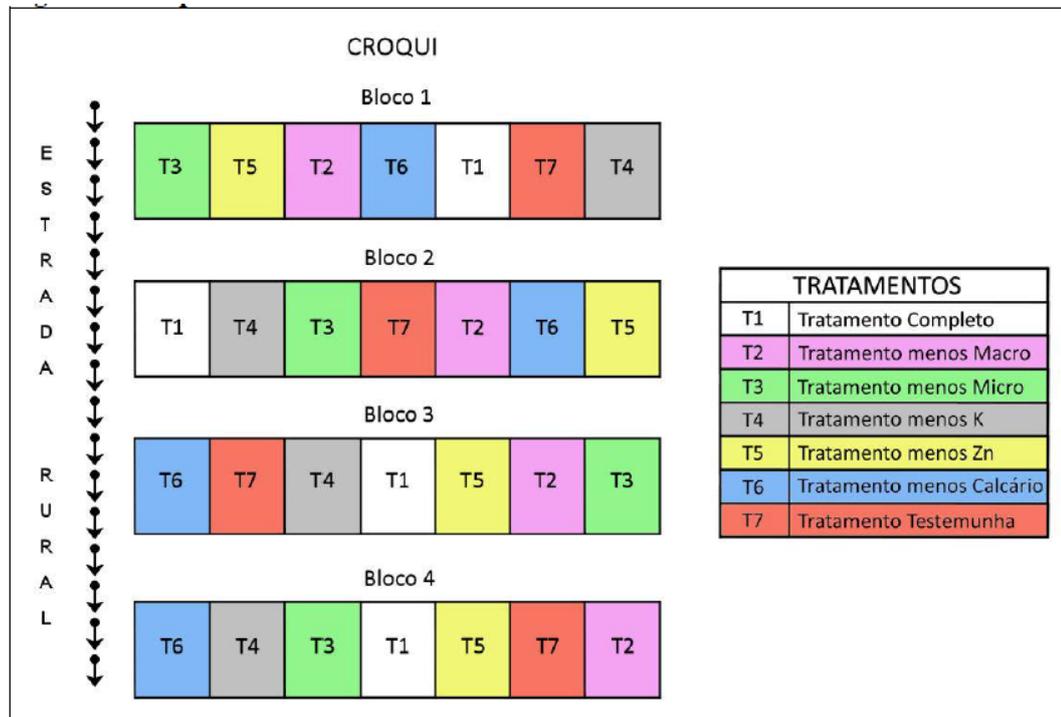


FIGURA 1 – Croqui da área experimental. FONTE: Schneider (2011).

Os tratamentos foram aplicados em novembro/2008 e novembro/2009 sendo que os adubos foram calculados para um hectare, e ajustados para a área experimental. A dosagem calculada foi dividida ao longo das duas aplicações. O cálculo foi baseado no Manual de Adubação e Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2004) e aplicadas doses equivalentes a 40; 60; 80; 3; 2 e 1,5 kg.ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Zn; B e Cu e 20 g ha<sup>-1</sup> de Mo, respectivamente, utilizando como fontes uréia, super fosfato triplo, cloreto de potássio, sulfato de zinco, ulexita, sulfato de cobre e molibdato de sódio. O calcário dolomítico foi aplicado na dose de 1300 kg ha<sup>-1</sup>. A aplicação se deu de forma manual, a lança, na superfície da serapilheira.

Coletas de serapilheira do plantio de *P. taeda* foram realizadas para avaliar a colonização da serapilheira por fungos ectomicorrizicos. Para cada parcela de tratamento do ensaio de omissão de nutrientes foram coletados cinco monólitos de

serapilheira de 10 x 10 cm com profundidade média de 5 cm, em duas coletas: inverno (agosto/2012) e verão (março/2013) conforme Figura 2.

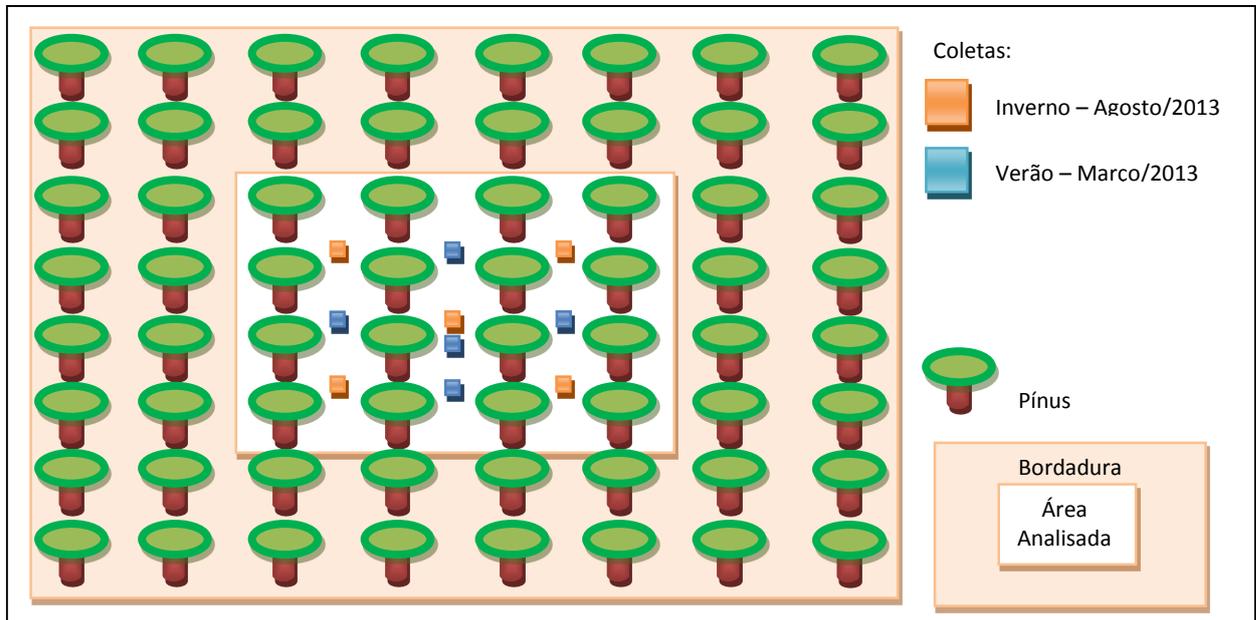


FIGURA 2 – Croqui da Parcela FONTE: O autor (2013).

As condições climáticas são apresentadas na Tabela 1. Os materiais coletados foram dispostos em sacos plásticos, identificados e armazenados em geladeira até o momento da avaliação.

TABELA 1 - TEMPERATURA, PRECIPITAÇÃO E UMIDADE RELATIVA DO AR MÉDIA DA SEMANA DE COLETA DE AMOSTRAS DO SOLO E DA SERAPILHEIRA DE *PINUS TAEDA*, JAGUARIAÍVA - PR.

Ano	Estação	Material Coletado	Temp. mínima (C°)	Temp. máxima (C°)	Temp. média (C°)	Precipitação (mm)	Umidade relativa (%)
2012	Inverno	Serapilheira e Solo	10,3	20,5	15,4	0,0	94,9
2013	Verão	Serapilheira, Esporocarpos e Solo	17,3	29,4	23,3	4,0	87,6
	Inverno	Esporocarpos	11,2	19,8	15,5	1,8	92,1
	Primavera	Esporocarpos	13,2	25,4	19,3	4,14	78,9

FONTE: SIMEPAR (2014).

## 4.2 ANÁLISE QUÍMICA DA SERAPILHEIRA E DO SOLO

Cada amostra de serapilheira coletada foi dividida em subhorizontes orgânicos e secas em estufa a 60 °C, moídas para serem submetidas à digestão na temperatura de 500 °C e solubilizadas em solução de HCl 3 mol L<sup>-1</sup> (MARTINS; REISSMANN, 2007), para os teores: Ca, Mg, K, P, Cu, Zn, Fe, Mn e C. As análises químicas da serapilheira foram realizadas no Laboratório de Biogeoquímica do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR juntamente com a determinação do C, N e relação C/N realizada por meio de combustão seca.

A coleta de solo foi realizada na profundidade de 0-5 cm, na região logo abaixo da serapilheira coletada, a fim de identificar a ocorrência de colonização de ectomicorrizas em duas épocas distintas (inverno e verão). A análise química foi realizada somente com a primeira amostra.

Para o ano de 2012 (inverno), as análises químicas da serapilheira e do solo bem como a correlação dos dados de cada amostra foi realizada individualmente (cinco por parcela) utilizando-se o valor médio das amostras para as análises estatísticas. Para o ano de 2013 (verão), devido o alto custo das análises e tempo utilizado para processamento, fez uma amostra composta para cada parcela e o valor médio foi utilizado para a avaliação química

As análises químicas de solo seguiram metodologias da EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (1997b) para pH, Al, H+Al, Ca, Mg, K, P, C, Cu, Zn, Fe e Mn, sendo realizadas Laboratório de Fertilidade do mesmo departamento da UFPR.

## 4.3 AMOSTRAGEM E ANÁLISE DE ECTOMICORRIZAS EM SERAPILHEIRA

Em laboratório, as amostras de serapilheira foram subdivididas e quantificadas as ectomicorrizas presentes. Essas análises foram realizadas no Laboratório de Patologia Florestal, da Embrapa Florestas. Cada monólito de serapilheira foi dividido em subhorizontes orgânicos: frações Ln (*Litter* novo), Lv (*Litter* velho) (BABEL, 1971; 1972) e Fh (Fragmentação e humus) conforme Figura 3.



FIGURA 3 – A. Monólito de serapilheira coletado em plantio de *Pinus taeda*. B. Subhorizonte *Litter* velho (Lv) e Subhorizonte *Litter* novo (Ln) obtidos através de serapilheira. C. Subhorizonte Fragmentação e húmus (Fh). D. Monólito dividido em 25 quadrantes para realização avaliação de ectomicorrizas.

FONTE: O autor (2013).

A fração Ln (FIGURA 2 B) foi aquela que permaneceu inalterada após queda das acículas e ramos da parte aérea da árvore. A fração Lv (FIGURA 2 B) conteve resíduos da parte aérea com certo grau de alteração facilmente identificáveis como desbotamento, fragmentação do material e agregações produzidas por hifas de fungos (BABEL, 1971; 1972).

Como fração Fh (FIGURA 2 B) considerou-se a união de duas frações orgânicas utilizadas por Babel (1971;1972): fração F e fração H. A fração Fh apresentou fragmentos em diferentes graus, em alguns casos podendo ocorrer substâncias finas, além da presença de raízes vivas, o esqueleto das folhas e visíveis ações de fungos (BABEL, 1971; 1972). Também foi considerada nesta fração a ocorrência de húmus, ou seja, substância com pouco ou nenhum resíduo identificável da parte aérea do pínus (BABEL, 1971; 1972). Na fração F, iniciou-se o

aparecimento de raízes finas no subhorizonte orgânico (BABEL, 1971; 1972), e a colonização de fungos micorrízicos. Cada fração foi subdividida em quadrantes e avaliada a presença de ectomicorrizas. (FIGURA 2 D).

A avaliação visual da presença das ectomicorrizas nas raízes localizadas na serapilheira foi feita em cada quadrante, baseada na metodologia descrita por Garbaye (1984) conforme Quadro 1.

QUADRO 1 - ESCALA DE AVALIAÇÃO PARA QUANTIFICAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DAS ECTOMICORRIZAS NA SERAPILHEIRA DE *PINUS TAEDA*.

Valor	Ocorrência de micorriza	Número de Quadrantes Colonizados	Quantidade de Quadrantes Colonizados (%)
0	Sem presença de ectomicorriza	0	0
0,5	Ectomicorrizas raras e dispersas	01 - 06	01 – 25
1	Ectomicorrizas menos raras e dispersas	07 - 12	26 – 50
2	Ectomicorrizas abundantes, agrupadas em manchas	13 - 18	51 – 75
3	Ectomicorrizas em toda área analisada	19 - 25	76 – 100

FONTE: Escala baseada de estudo de Garbaye (1994).

Foram atribuídos valores percentuais de frequência de ectomicorrizas acumulada por tratamento ( $F_i$  %) e índice médio de colonização de ectomicorrizas por bloco analisado.

A frequência de ectomicorrizas acumulada por tratamento ( $F_i$  %) refletiu o percentual de colonização de amostras por tratamento, representado pela fórmula:

$$F_i \% = (N / 20) \times 100$$

Onde:

$F_i$  % = Frequência porcentual de ectomicorrizas acumulada por tratamento

N = Número de amostras com ectomicorrizas em cada tratamento

O índice médio de colonização foi calculado através da média do somatório dos valores atribuídos de colonização de ectomicorrizas para cada parcela do tratamento.

$$IMC_t = (\sum IC) / 20$$

Onde:

$IMC_t$  = Índice médio de colonização de ectomicorrizas por tratamento

IC = Índice de colonização de ectomicorrizas

Em cada amostra de serapilheira analisada foi atribuído um valor de quadrantes colonizados no horizonte Fh, variando entre 0 e 3 (QUADRO 1), sendo o somatório dos valores de cada tratamento podendo variar entre 0, em que nenhuma amostra do tratamento apresentou colonização, até 60, em que todas as 20 amostras coletadas em cada tratamento apresentaram valor 3.

#### 4.4 AMOSTRAGEM E ANÁLISE DOS CORPOS DE FRUTIFICAÇÃO

Para cada tratamento, avaliou-se a ocorrência e a frequência de corpos de frutificação dos fungos ectomicorrízicos sobre a serapilheira em toda a área útil da parcela (400 m<sup>2</sup>). Foram coletados de cada tratamento no máximo 4 esporocarpos de características morfológicas similares para isolamento, herborização e armazenamento em laboratório, para posterior identificação. A amostragem foi realizada em três períodos: verão (março/2013), inverno (julho/2013) e primavera (outubro/2013) conforme Tabela 1.

A identificação foi realizada junto ao material depositado na Coleção de Fungos do Jardim Botânico de Curitiba, além de apoio de material didático e chaves de identificação (PUTZKE; PUTZKE, 1998; MEIJER, 2006; MEIJER, 2008; FEDERAÇÃO DOS PRODUTORES FLORESTAIS DE PORTUGAL, 2008), sendo priorizado a identificação a nível de gênero e família.

#### 4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para análise estatística, os valores obtidos para frequência de ectomicorrizas em serapilheira e de corpos de frutificação, quando dados qualitativos, foram transformados para  $(\sqrt{x+0,5})$ .

A análise de homogeneidade de variâncias foi realizada seguida pelo teste de médias (Scott Knott) e de Correlação de Pearson. Os testes foram realizados do programa estatístico SISVAR versão 5.3 (2010) e Microsoft Office Excel 2007 juntamente com o suplemento estatístico Action.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 INFLUÊNCIA DOS NUTRIENTES NA SERAPILHEIRA NO INVERNO

Os resultados mostraram que houve uma elevada variação nos teores de nutrientes, segundo as diferentes frações da serapilheira (Tabela 2).

TABELA 2 – TEORES MÉDIOS TOTAIS DE NUTRIENTES OBTIDOS NOS SUBHORIZONTES ORGÂNICOS (LN, LV E FH) DE *PINUS TAEDA* – JAGUARIAÍVA – PR – INVERNO.

Tratamento	Ln								
	g.kg <sup>-1</sup>					mg.kg <sup>-1</sup>			
	K	P	Ca	Mg	Na	Cu	Mn	Fe	Zn
Completo	1,50 <sup>a</sup>	0,27 <sup>b</sup>	3,87 <sup>a</sup>	1,61 <sup>a</sup>	0,42 <sup>a</sup>	13 <sup>a</sup>	85 <sup>b</sup>	344 <sup>a</sup>	18 <sup>b</sup>
Menos Macro	0,57 <sup>b</sup>	0,37 <sup>a</sup>	4,22 <sup>a</sup>	1,93 <sup>a</sup>	0,35 <sup>a</sup>	08 <sup>a</sup>	102 <sup>b</sup>	269 <sup>a</sup>	14 <sup>b</sup>
Menos Micro	0,79 <sup>b</sup>	0,24 <sup>b</sup>	2,91 <sup>b</sup>	1,62 <sup>a</sup>	0,37 <sup>a</sup>	09 <sup>a</sup>	69 <sup>b</sup>	381 <sup>a</sup>	20 <sup>b</sup>
Menos K	0,58 <sup>b</sup>	0,25 <sup>b</sup>	3,05 <sup>b</sup>	1,54 <sup>a</sup>	0,24 <sup>a</sup>	10 <sup>a</sup>	99 <sup>b</sup>	230 <sup>a</sup>	15 <sup>b</sup>
Menos Zn	0,90 <sup>b</sup>	0,27 <sup>b</sup>	2,73 <sup>b</sup>	1,44 <sup>a</sup>	0,26 <sup>a</sup>	11 <sup>a</sup>	64 <sup>b</sup>	235 <sup>a</sup>	13 <sup>b</sup>
Menos Calcário	0,83 <sup>b</sup>	0,28 <sup>b</sup>	2,44 <sup>b</sup>	0,98 <sup>a</sup>	0,41 <sup>a</sup>	17 <sup>a</sup>	152 <sup>a</sup>	208 <sup>a</sup>	35 <sup>a</sup>
Testemunha	0,60 <sup>b</sup>	0,37 <sup>a</sup>	2,51 <sup>b</sup>	1,23 <sup>a</sup>	0,47 <sup>a</sup>	13 <sup>a</sup>	179 <sup>a</sup>	289 <sup>a</sup>	22 <sup>b</sup>
CV (%)	36,6	22,6	24,9	48,1	35,5	40,3	38,5	37,2	41,4
Tratamento	Lv								
	g.kg <sup>-1</sup>					mg.kg <sup>-1</sup>			
	K	P	Ca	Mg	Na	Cu	Mn	Fe	Zn
Completo	1,12 <sup>a</sup>	0,26 <sup>a</sup>	1,85 <sup>a</sup>	0,68 <sup>a</sup>	0,38 <sup>a</sup>	09 <sup>a</sup>	146 <sup>a</sup>	312 <sup>a</sup>	17 <sup>b</sup>
Menos Macro	0,73 <sup>b</sup>	0,34 <sup>b</sup>	2,48 <sup>a</sup>	0,91 <sup>a</sup>	0,35 <sup>a</sup>	06 <sup>a</sup>	176 <sup>a</sup>	348 <sup>a</sup>	16 <sup>b</sup>
Menos Micro	0,84 <sup>b</sup>	0,26 <sup>b</sup>	2,20 <sup>a</sup>	0,67 <sup>a</sup>	0,37 <sup>a</sup>	04 <sup>a</sup>	152 <sup>a</sup>	388 <sup>a</sup>	16 <sup>b</sup>
Menos K	0,70 <sup>b</sup>	0,27 <sup>b</sup>	2,25 <sup>a</sup>	0,70 <sup>a</sup>	0,36 <sup>a</sup>	07 <sup>a</sup>	195 <sup>a</sup>	280 <sup>a</sup>	14 <sup>b</sup>
Menos Zn	0,98 <sup>a</sup>	0,27 <sup>a</sup>	2,16 <sup>a</sup>	0,74 <sup>a</sup>	0,40 <sup>a</sup>	06 <sup>a</sup>	143 <sup>a</sup>	354 <sup>a</sup>	14 <sup>b</sup>
Menos Calcário	0,79 <sup>b</sup>	0,29 <sup>b</sup>	1,74 <sup>a</sup>	0,46 <sup>b</sup>	0,37 <sup>a</sup>	08 <sup>a</sup>	147 <sup>a</sup>	244 <sup>a</sup>	29 <sup>a</sup>
Testemunha	0,63 <sup>b</sup>	0,34 <sup>b</sup>	1,59 <sup>a</sup>	0,47 <sup>b</sup>	0,37 <sup>a</sup>	03 <sup>a</sup>	177 <sup>a</sup>	343 <sup>a</sup>	10 <sup>b</sup>
CV (%)	12,6	7,12	23,7	26,7	11,4	40,1	23,7	28	35,5
Tratamento	Fh								
	g.kg <sup>-1</sup>					mg.kg <sup>-1</sup>			
	K	P	Ca	Mg	Na	Cu	Mn	Fe	Zn
Completo	0,85 <sup>a</sup>	0,32 <sup>b</sup>	8,42 <sup>a</sup>	3,94 <sup>a</sup>	0,57 <sup>a</sup>	171 <sup>a</sup>	226 <sup>a</sup>	1516 <sup>a</sup>	151 <sup>a</sup>
Menos Macro	0,47 <sup>b</sup>	0,80 <sup>a</sup>	5,82 <sup>a</sup>	3,36 <sup>a</sup>	0,46 <sup>a</sup>	115 <sup>a</sup>	131 <sup>b</sup>	1824 <sup>a</sup>	114 <sup>a</sup>
Menos Micro	0,79 <sup>a</sup>	0,32 <sup>b</sup>	7,01 <sup>a</sup>	3,59 <sup>a</sup>	0,48 <sup>a</sup>	11 <sup>b</sup>	163 <sup>b</sup>	1233 <sup>b</sup>	11 <sup>a</sup>
Menos K	0,59 <sup>b</sup>	0,24 <sup>b</sup>	6,83 <sup>a</sup>	3,70 <sup>a</sup>	0,50 <sup>a</sup>	202 <sup>a</sup>	240 <sup>a</sup>	1501 <sup>a</sup>	163 <sup>a</sup>
Menos Zn	0,77 <sup>a</sup>	0,30 <sup>b</sup>	6,69 <sup>a</sup>	3,35 <sup>a</sup>	0,46 <sup>a</sup>	151 <sup>a</sup>	161 <sup>b</sup>	1474 <sup>a</sup>	34 <sup>a</sup>
Menos Calcário	0,77 <sup>a</sup>	0,44 <sup>b</sup>	0,96 <sup>b</sup>	0,30 <sup>b</sup>	0,44 <sup>a</sup>	137 <sup>a</sup>	74 <sup>c</sup>	1083 <sup>b</sup>	175 <sup>a</sup>
Testemunha	0,52 <sup>b</sup>	0,93 <sup>a</sup>	0,65 <sup>b</sup>	0,34 <sup>b</sup>	0,44 <sup>a</sup>	10 <sup>b</sup>	37 <sup>c</sup>	1259 <sup>b</sup>	13 <sup>a</sup>
CV (%)	24,1	41,5	50,4	35,1	22,7	71,6	28,6	18,4	50,7

\*Médias com letras iguais não diferem entre si estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (Scott-Knott) ( $p < 0,05$ ).

O subhorizonte Ln refletiu o teor de nutrientes existente na planta, o estado mais próximo da nutrição da planta, representando as acículas recém depositadas sobre o solo. O Lv representou as acículas recém depositadas com algum grau de decomposição, indicando a ação do ataque microbiano em algum momento posterior e, sendo assim, o efeito da adubação realizado no experimento nos anos de 2008 e 2009 deve estar presente apenas no subhorizonte Fh.

Foi observado baixo teor de K na testemunha (0,60, 0,63 e 0,52 g.kg<sup>-1</sup> para Ln, Lv e Fh, respectivamente), similar ao verificado por Hashimoto (2011) em ensaio realizado na mesma área, no ano de 2011, em que obteve teor de K de 0,70 e 0,37 g.kg<sup>-1</sup> no subhorizonte orgânico Ln e Lv respectivamente, resultando em baixo efeito da adubação no teor atual de K. Batista (2011) observou teores menores para Ln e Lv em um Cambissolo (0,35 e 0,33 g.kg<sup>-1</sup>, respectivamente) e em Latossolo (0,35 e 0,25 g.kg<sup>-1</sup>, respectivamente). Brum (1980) encontrou teor próximo ao observado no estudo (0,6 g.kg<sup>-1</sup>) em *Pinus elliottii*.

A concentração de K apresentou diferença estatística em ambos subhorizontes no tratamento completo (1,50; 1,12 e 0,85 g.kg<sup>-1</sup> para Ln, Lv e Fh respectivamente). A queda na concentração de K observada em função da idade do subhorizonte orgânico corroborou com valores obtidos por Batista (2011) e Hashimoto (2011). Esta atuação pode significar a lixiviação deste nutriente das acículas pela água, ocorrendo deposição do nutriente na superfície da serapilheira (BATISTA, 2011). O tratamento com omissão de Zn apresentou diferença estatística no subhorizonte Lv (0,98 g.kg<sup>-1</sup>) e Fh (0,77 g.kg<sup>-1</sup>), sendo que no mesmo subhorizonte Fh também se destacaram as médias dos tratamentos com omissão de calcário (0,77 g.kg<sup>-1</sup>) e menos micro (0,79 g.kg<sup>-1</sup>).

Na testemunha verificou-se Ca e Mg com baixos teores na análise química (2,51 e 1,23 g.kg<sup>-1</sup> para Ln, 1,59 e 0,47 g.kg<sup>-1</sup> para Lv e 0,65 e 0,34 g.kg<sup>-1</sup> para Fh, respectivamente). Logo, as bases Ca, Mg e K obtidas no experimento sugere liberação para planta e solo. Decréscimo de Ca e Mg também sugere perda com decomposição corroborando com Hashimoto (2011), apesar do autor observar valores muito maiores dos mesmos (16,18 e 2,99 g.kg<sup>-1</sup> para Ca e Mg no subhorizonte Ln e 15,60 a 1,77 g.kg<sup>-1</sup> para Ca e Mg no subhorizonte Lv). Batista (2011) observou valores semelhantes em um Latossolo (1,33 e 0,76 g.kg<sup>-1</sup> para Ca e Mg no subhorizonte Ln e 1,28 a 0,40 g.kg<sup>-1</sup> para Ca e Mg no subhorizonte Lv) e em um Cambissolo (0,48 e 0,33 g.kg<sup>-1</sup> para Ln e 3,01 e 1,75 g.kg<sup>-1</sup> para Lv).

O aumento em mais de 10 vezes na concentração de Ca e Mg no subhorizonte Fh na testemunha, quando do uso de calcário, mas não acompanhado pelo Ln e Lv, sugere que parte dos valores obtidos possa ser parte do calcário que não reagiu ou que o material orgânico decomposto tenha adsorvido os mesmos. Cabe ressaltar que, no momento da coleta haviam sinais visuais em parte da serapilheira, com cor esbranquiçada, confirmando a presença de calcário dolomítico que não reagiu.

As concentrações de Ca no Ln foram maiores nos tratamentos completo ( $3,87 \text{ g.kg}^{-1}$ ) e menos macro ( $4,22 \text{ g.kg}^{-1}$ ). A concentração de Mg no Lv foi influenciada pelo uso de calcário, tendo os menores valores no tratamento menos calcário ( $0,46 \text{ g.kg}^{-1}$ ) e testemunha ( $0,47 \text{ g.kg}^{-1}$ ).

O Ca é um dos elementos com maior teor na serapilheira, já que fica armazenado na acícula mesmo após o processo de queda da árvore (WISNIWESKI; REISSMANN, 1996). O Mg tem comportamento diferente pela maior mobilidade na planta em relação ao Ca, sendo redistribuído da parte mais velha para a mais nova, diminuindo o teor nas acículas depositadas (BATISTA, 2011).

No caso do P, as maiores concentrações de P total foram sempre observadas para os tratamentos menos macro e testemunha para Ln e Lv. No subhorizonte Fh, apesar de somente testemunha apresentar diferença estatística ( $0,93 \text{ g.kg}^{-1}$ ), o tratamento menos macro também apresentou maior teor ( $0,80 \text{ g.kg}^{-1}$ ) de P que o tratamento completo ( $0,32 \text{ g.kg}^{-1}$ ). Os valores de P obtidos no presente estudo foram considerados baixos em relação aos obtidos por Wisniweski e Reissmann (1996) ( $0,6 \text{ g.kg}^{-1}$ ). Reissmann (1983) observou teores de P entre  $0,167$  a  $0,203 \text{ g.kg}^{-1}$  e  $0,25$  a  $0,367 \text{ g.kg}^{-1}$  para Ln e Lv, respectivamente.

As maiores concentrações totais de cobre e zinco no subhorizonte Fh confirmam a alta capacidade de adsorção de metais por compostos orgânicos, fato que incide nas camadas com maior atividade de decomposição (SCHNEIDER, 2011). Ainda, apesar de ter sido aplicado uma maior quantidade de Zn em relação ao Cu, as concentrações totais de Zn foram menores do que de Cu, fator este também observado por Schneider (2011). Isto indica que o Zn pode ser menos adsorvido na matéria orgânica do que o Cu.

A pequena variação dos valores de Cu e Zn em função dos tratamentos indica pequena eficiência do adubo utilizado podendo estar relacionada à forte retenção do camada Fh discutida anteriormente. Os maiores valores de Cu e Zn no Ln e Lv

quando da omissão de calcário confirma a diminuição da capacidade de adsorção do solo e matéria orgânica com decréscimo do pH.

Foram observados concentração total de Zn no subhorizonte Ln (13 a 35 mg.kg<sup>-1</sup>) maior do que o observado por Hashimoto (2011) (1,5 mg.kg<sup>-1</sup> até 8,21 mg.kg<sup>-1</sup>) para o mesmo subhorizonte. Já Schneider (2011) observou teores similares no subhorizonte Ln para um Latossolo (6,5 mg.Kg<sup>-1</sup> a 4,2 mg.kg<sup>-1</sup>), corroborando para o trabalho atual, diferente dos teores encontrados pelo autor em um Cambissolo (6,5 mg.kg<sup>-1</sup> a 4,2 mg.kg<sup>-1</sup>).

Reissman (1981) apresentou teores de Zn para a serapilheira entre 9 e 20 mg.kg<sup>-1</sup> e 10 e 30 mg.kg<sup>-1</sup> para Ln e Lv, respectivamente, contrariamente ao teor obtido na testemunha no Ln (22 mg.kg<sup>-1</sup>), mas concordando com mesmo tratamento no subhorizonte Lv (12 mg.kg<sup>-1</sup>). De acordo com a Tabela 3, destacam-se os altos teores de Zn para os três subhorizontes, diferente do observado por Hashimoto (2011) e Schneider (2011) que obtiveram os maiores teores no tratamento menos macro e menos K (Ln e Lv respectivamente) e completo (Ln e Lv) respectivamente.

Diferente do Cu e Zn, os efeitos observados no manganês deve-se a ação do corretivo e adubo adicionado, uma vez que não foi realizada a aplicação deste elemento. Os valores de Mn apresentaram queda nos subhorizontes Ln e Lv com valores de 64 até 179 mg.kg<sup>-1</sup> para Ln e 143 até 195 mg.kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Maiores valores de Mn no Ln foram obtidos nos tratamentos que não receberam calcário e testemunha, confirmando a importância da acidez na disponibilização e absorção pelas plantas (SCHNEIDER, 2011).

Quando o pH for menor que 5,5, maior a adsorção do Mn nos compostos orgânicos (MOTTA *et al.*, 2007). A disponibilidade do mesmo e absorção pelas plantas ocorrerá quanto em pH 5,5. A menor adsorção também pode ser uma explicação para os menores valores no subhorizonte Fh quando não utilizaram corretivo na acidez, ou seja menor adsorção e consequente lixiviação. Contudo, o menor pH do solo pode disponibilizar mais Mn e enriquecer o subhorizonte Fh, uma vez que a solução do solo pode subir via capilaridade. Logo, os resultados confirmam que o calcário e o pH podem ter grande influência na ciclagem do elemento Mn. Mais estudos são necessários na elucidação variação do comportamento do Mn nas diferentes frações do horizonte orgânico.

Embora os valores observados de Mn em nosso trabalho possam ser considerados elevados, estes são menores que os obtidos por Reissmann (1981) para

Ln (300 a 500 mg.kg<sup>-1</sup>) e Lv (400 a 740 mg.kg<sup>-1</sup>) e Schneider (2011) para subhorizonte orgânico (685 a 781 mg.kg<sup>-1</sup>) e para Ln (702 até 1.101 mg.kg<sup>-1</sup>) de um Latossolo. Valores ainda maiores foram observados por Trevisan (1992) que constatou concentração de Mn de 1.679; 1.171 e 992 mg.kg<sup>-1</sup> para os subhorizontes Ln1, Ln2 e Lv, respectivamente. Na serapilheira, os maiores teores de Mn estarão presentes de acordo com o envelhecimento (SCHNEIDER, 2011), podendo estar atribuído a lixiviação e a absorção por raízes finas localizadas no subhorizonte orgânico F (TREVISAN, 1992).

As concentrações totais de Fe na serapilheira, diferentemente do observado para Mn, não foi influenciado pelos tratamentos. Também foi observado um grande enriquecimento no subhorizonte Fh para todos os tratamentos, corroborando com dados obtidos por Hashimoto (2011) e Schneider (2011). O aumento da concentração do Fe era esperado, uma vez que representa elemento muito abundante no solo. Ainda, não se conseguiu separar totalmente as frações da serapilheira e vestígios de solo mineral possam ter sido transportados por atividade biológica até essas frações, contaminando e resultando em altos teores de Fe nos subhorizontes (VALERI; REISSMANN, 1989). Reissmann (1981) verificou a concentração de Fe variar entre 225 a 365 mg.kg<sup>-1</sup> no Ln, para 1000 a 2250 mg.kg<sup>-1</sup> para Lv, valores esses acima do encontrado.

## 5.2 FREQUÊNCIA DE ECTOMICORRIZAS E OS TEORES DE NUTRIENTES EM SERAPILHEIRA DE *PINUS TAEDA* - INVERNO

Nas 140 amostras de serapilheira da coleta inicial (inverno) foi observada a presença de ectomicorrizas em 46 amostras (TABELA 3). Com relação da camada de 0-5 de solo não foi observado a ocorrência de ectomicorrizas, somente micélio de fungos ectomicorrizicos.

Os resultados indicaram mudança na frequência e colonização das raízes pelos fungos ectomicorrizicos em função dos tratamentos, mostrando forte efeito residual dos fertilizantes e do corretivo aplicado a mais de 4 anos. Tal fato pode estar associado aos elementos que normalmente possuem elevado efeito residual, caso dos nutrientes P, Zn e Cu aplicados, além da calagem. Deve-se considerar ainda o efeito indireto dos nutrientes, com o pH, aplicados na nutrição da planta e consequentemente sobre a ocorrência de micorrizas.

TABELA 3 – OCORRÊNCIA DE ECTOMICORRIZAS EM RAÍZES DA SERAPILHEIRA DE *PINUS TAEDA* VERIFICADA EM ENSAIO DE OMISSÃO DE NUTRIENTES - JAGUARIAÍVA, PR - INVERNO

Tratamento	Fi (%)	Índice Médio de Colonização
Completo	10 <sup>b</sup>	0,10 <sup>b</sup>
Completo menos macronutrientes	50 <sup>a</sup>	0,40 <sup>a</sup>
Completo menos micronutrientes	15 <sup>b</sup>	0,23 <sup>b</sup>
Completo menos potássio	25 <sup>b</sup>	0,28 <sup>b</sup>
Completo menos zinco	15 <sup>b</sup>	0,18 <sup>b</sup>
Completo menos calcário	50 <sup>a</sup>	0,50 <sup>a</sup>
Testemunha	65 <sup>a</sup>	0,78 <sup>a</sup>
CV (%)	42,98	34,49

\*Médias com letras iguais não diferem entre si estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (Scott-Knott) ( $p < 0,05$ ). ns: Valores não significativos.

A grande frequência de raízes com ectomicorrizas no tratamento testemunha e no tratamento com omissão de calcário pode estar relacionada com a dependência de que alguns fungos ectomicorrízicos possuem para desenvolver em solos com pH ácido, conforme observado por Theodorou e Bowen (1969).

A elevação do pH, acompanhada pelo acréscimo do Ca e Mg, resultado da aplicação do corretivo proporcionou um grande decréscimo na colonização. Apesar do longo período entre aplicação do calcário dolomítico e da coleta de amostra para determinação das ectomicorrizas, foi visível a presença de resíduos do corretivo que não reagiu. É conhecido que *Pinus taeda* não se desenvolve satisfatoriamente em condição de pH elevado, e tal fato pode estar associado com a simbiose entre micorrizas e árvores. Os nutrientes Ca e Mg em plantas associadas às ectomicorrizas permitem maior absorção de P (SILVA *et al.*, 2007a).

A aplicação de macronutrientes também teve impacto negativo sobre a frequência de ectomicorriza observado no tratamento com omissão de macronutrientes. Tal efeito deve-se a adição de P e N, uma vez que a retirada do K (tratamento com omissão de K) teve pequena influência sobre o índice médio de colonização. O P demonstrou presença no ensaio após quatro anos, já o K, por ser muito ser muito dinâmico, móvel no solo e facilmente lixiviado quando encontrado nas acículas não permaneceu na serapilheira diminuindo sua influencia direta a longo prazo, restando apenas o efeito indireto da nutrição da planta e retorno com queda das acículas.

A omissão de micronutrientes (Zn, Cu, B e Mo) não proporcionou alteração da frequência de micorriza quando comparado ao tratamento completo, indicando pequena participação dos mesmos nutrientes após 4 anos. Embora a ectomicorriza possa ser importante no suprimento de micronutrientes como Zn (MOTTA *et al.*, 2007), a aplicação do mesmo nutriente teve efeito similar ao tratamento com aplicação de macronutrientes (N, P, K) visto o índice de colonização para ambos se 0,18 e 0,10 respectivamente. Deve-se considerar que o Zn e Cu aplicados têm alta afinidade pela matéria orgânica e com isso ficam pouco disponível para os microorganismos e plantas (MOTTA *et al.*, 2007).

Os tratamentos sem micronutrientes apresentaram menor frequência e índice de colonização de ectomicorrizas. A este respeito, Silva *et al.* (2007b) constataram quem mudas de canafístula (*Peltophorum dubium*) inoculadas com *Pisolithus tinctorius* sob doses crescentes de aplicação de cobre apresentaram redução na ocorrência de ectomicorriza, no comprimento e na área específica radicular.

Nos subhorizontes orgânicos da serapilheira de *Pinus taeda*, a colonização de fungos ectomicorrizicos no subhorizonte Fh apresentou padrão similar de correlação com todos os nutrientes. A maioria das correlações se apresentaram negativas no subhorizonte orgânico Fh, com exceção do P que apresentou padrão ao contrário, com correlação positiva (TABELA 4).

TABELA 4 – CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE O ÍNDICE MÉDIO DE COLONIZAÇÃO DE ECTOMICORRIZAS EM *PINUS TAEDA* NO SUBHORIZONTE ORGÂNICO FH E OS TEORES TOTAIS DE NUTRIENTES NA SERAPILHEIRA – JAGUARIAÍVA – PR – INVERNO

Subhorizonte	K	Ca	Mg	P	Na	Cu	Mn	Fe	Zn
Ln	-0,61 <sup>ns</sup>	-0,41 <sup>ns</sup>	-0,48 <sup>ns</sup>	0,72 <sup>*</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	0,90 <sup>**</sup>	-0,28 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>
Lv	-0,79 <sup>*</sup>	-0,51 <sup>ns</sup>	-0,55 <sup>ns</sup>	0,80 <sup>*</sup>	-0,23 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	-0,15 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
Fh	-0,59 <sup>ns</sup>	-0,89 <sup>**</sup>	-0,84 <sup>**</sup>	0,86 <sup>**</sup>	-0,69 <sup>*</sup>	-0,44 <sup>ns</sup>	-0,88 <sup>**</sup>	-0,21 <sup>ns</sup>	-0,22 <sup>ns</sup>

\*: Valores significativos ao nível de 10% ( $p < 0,10$ ); \*\*: Valores significativos ao nível de 5 % ( $p < 0,05$ ); ns: Valores não significativos.

Dentro os macronutrientes destacaram-se as correlações positivas significativas entre os teores de P e o índice de colonização de ectomicorrizas indicando que teores de P possuem relação proporcional positiva com o índice médio de colonização. Já o Ca e Mg apresentaram correlação significativa negativa no subhorizonte orgânico Fh indicando que teores de ambos nutrientes têm relação inversamente proporcional ao índice médio de colonização.

Constatou-se que a correlação entre a concentração de P na serapilheira e o índice de colonização de ectomicorrizas em todos os subhorizontes (TABELA 4). Contudo, a correlação só foi possível visto que as maiores concentrações de P foram obtidas nos tratamentos com omissão de macronutrientes e testemunha, tratamentos em que não se aplicaram o P.

O K apresentou correlação negativa que, apesar de não ser significativo, obteve valor maior de correlação em relação ao obtido no Lv, também negativo.

No subhorizonte Fh pode-se observar também certa dependência dos valores de Ca e Mg visto que ambos apresentaram valores significativos e semelhantes, com mesma semelhança para os subhorizontes Ln e Lv, apesar de não significativo. Também obtiveram correlações negativas os teores de Na com os fungos ectomicorrizicos localizados na serapilheira.

Relação inversa entre concentração de Ca e Mg e ectomicorriza era esperado, refletindo o grande decréscimo da ectomicorriza com o uso do calcário. Assim, a relação inversa sugere reflexo da mudança do pH do substrato. Contudo, ectomicorrizas tem papel importante no aumento da absorção de Ca, K, Mg e micronutrientes já que o diâmetro das hifas permitirão o acesso aos microporos, permitindo maior absorção desses (WALLANDER *et al.*, 2002). Ainda, Jentschke *et al.* (2000) indica que estes fungos também realizarão a solubilização de minerais através de exsudação de ácidos orgânicos, ou mesmo pela acidificação da área, fornecendo Ca, Mg e K.

Também obtiveram baixa correlação negativa significativa os teores de Na com os fungos ectomicorrizicos localizados na serapilheira

Os micronutrientes não apresentaram correlação com o índice médio de colonização, com exceção do Mn que apresentou correlação proporcional significativa no subhorizonte Ln e correlação inversamente proporcional significativa no subhorizonte Fh.

A correlação observada por Mn pode ser explicada pela sensibilidade demonstrada pelo Mn, à calagem devido o baixo índice de colonização no tratamento com omissão de Zn e com omissão de micronutrientes e à omissão de macronutrientes e o índice maior de colonização.

Porém deve-se ressaltar que não foi identificado se o fato ocorreu devido a aplicação de calcário dolimitico e a resposta do Mn ou devido o efeito do próprio elemento.

O subhorizonte orgânico Fh foi o único a ser analisado com relação ao carbono, nitrogênio e a relação C/N, por ser neste subhorizonte que visualmente foram constatadas as associações ectomicorrizas. Os tratamentos não apresentaram diferença entre si, indicando que a adubação realizada não obteve efeito sobre os teores de N, C e C/N (TABELA 5). Reissmann (1983) observou que a relação C/N decresce quanto mais profundo for o subhorizonte orgânico. Martins (2011) também observou mesmo decréscimo para o subhorizonte orgânico Ln (50,9) e Lv (36,9) em um Cambissolo e valores de C/N de 65,3 e de 39, respectivamente para Ln e Lv em um Latossolo.

TABELA 5 – TEORES DE N, C E RELAÇÃO C/N NO SUBHORIZONTE ORGÂNICO FH – JAGUARIAÍVA – PR - INVERNO

Tratamento	N (%)	C (%)	C/N
Completo	0,84 <sup>a</sup>	24,22 <sup>a</sup>	28,91 <sup>a</sup>
Menos Macro	0,71 <sup>a</sup>	19,97 <sup>a</sup>	27,11 <sup>a</sup>
Menos Micro	0,88 <sup>a</sup>	25,67 <sup>a</sup>	28,77 <sup>a</sup>
Menos K	0,81 <sup>a</sup>	22,96 <sup>a</sup>	28,31 <sup>a</sup>
Menos Zn	0,91 <sup>a</sup>	24,40 <sup>a</sup>	26,55 <sup>a</sup>
Menos Calcário	0,96 <sup>a</sup>	27,38 <sup>a</sup>	28,26 <sup>a</sup>
Testemunha	0,66 <sup>a</sup>	18,05 <sup>a</sup>	27,19 <sup>a</sup>
CV (%)	22,53	26,91	6,51

\*Médias com letras iguais não diferem entre si estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (Scott-Knott) ( $p < 0,05$ ). ns: Valores não significativos.

Não foi identificada correlação significativa com valores de C, N e C/N (-0,54 %, -0,55 % e -0,35 % respectivamente) e a ocorrência de ectomicorrizas.

### 5.3 INFLUÊNCIA DOS NUTRIENTES NA SERAPILHEIRA NO VERÃO

Como no inverno, os resultados mostraram que houve uma elevada variação nos teores de nutrientes, segundo as diferentes frações da serapilheira (TABELA 6). Os teores de K para a testemunha foram menores na coleta de verão (0,29; 0,27 e 0,26 g.kg<sup>-1</sup> para Ln, Lv e Fh respectivamente) aos observados na coleta de inverno (0,57, 0,63, e 0,52 g.kg<sup>-1</sup>) para Ln, Lv e Fh, respectivamente. Foi observada queda em função da idade do subhorizonte orgânico, devido à lixiviação do K pela água, e deposição do nutriente na superfície da serapilheira (BATISTA, 2011).

TABELA 6 – TEORES TOTAIS DE NUTRIENTES OBTIDOS NOS SUBHORIZONTES ORGÂNICOS (LN, LV E FH) DE *PINUS TAEDA* – JAGUARIAÍVA – PR – VERÃO

Tratamento	Ln								
	g/kg					mg/kg			
	K	P	Ca	Mg	Na	Cu	Mn	Fe	Zn
Completo	0,46 <sup>a</sup>	0,51 <sup>b</sup>	5,33 <sup>a</sup>	1,98 <sup>a</sup>	0,10 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	78 <sup>a</sup>	643 <sup>a</sup>	9 <sup>b</sup>
Menos Macro	0,37 <sup>a</sup>	0,45 <sup>b</sup>	6,41 <sup>a</sup>	2,50 <sup>a</sup>	0,10 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	114 <sup>a</sup>	839 <sup>a</sup>	7 <sup>b</sup>
Menos Micro	0,39 <sup>a</sup>	0,59 <sup>a</sup>	5,35 <sup>a</sup>	2,08 <sup>a</sup>	0,10 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	83 <sup>a</sup>	955 <sup>a</sup>	3 <sup>b</sup>
Menos K	0,39 <sup>a</sup>	0,60 <sup>a</sup>	5,83 <sup>a</sup>	2,06 <sup>a</sup>	0,10 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	134 <sup>a</sup>	802 <sup>a</sup>	16 <sup>a</sup>
Menos Zn	0,41 <sup>a</sup>	0,56 <sup>a</sup>	5,81 <sup>a</sup>	2,19 <sup>a</sup>	0,10 <sup>a</sup>	10 <sup>a</sup>	82 <sup>a</sup>	1003 <sup>a</sup>	9 <sup>b</sup>
Menos Calcário	0,42 <sup>a</sup>	0,51 <sup>b</sup>	3,38 <sup>a</sup>	0,79 <sup>b</sup>	0,10 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	106 <sup>a</sup>	443 <sup>a</sup>	21 <sup>a</sup>
Testemunha	0,29 <sup>b</sup>	0,45 <sup>b</sup>	2,85 <sup>b</sup>	0,91 <sup>b</sup>	0,10 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	136 <sup>a</sup>	493 <sup>a</sup>	1 <sup>b</sup>
CV (%)	9,8	12,4	15,4	17,1	0,0	123,6	37,5	55,8	67,8
Tratamento	Lv								
	g/kg					mg/kg			
	K	P	Ca	Mg	Na	Cu	Mn	Fe	Zn
Completo	0,44 <sup>a</sup>	0,62 <sup>a</sup>	5,50 <sup>b</sup>	1,91 <sup>a</sup>	0,10 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	136 <sup>a</sup>	949 <sup>a</sup>	10 <sup>a</sup>
Menos Macro	0,34 <sup>a</sup>	0,52 <sup>b</sup>	7,26 <sup>a</sup>	2,63 <sup>a</sup>	0,10 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	206 <sup>a</sup>	1137 <sup>a</sup>	14 <sup>a</sup>
Menos Micro	0,34 <sup>a</sup>	0,54 <sup>b</sup>	5,86 <sup>b</sup>	2,11 <sup>a</sup>	0,10 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	123 <sup>a</sup>	914 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>
Menos K	0,29 <sup>a</sup>	0,63 <sup>a</sup>	7,03 <sup>a</sup>	2,32 <sup>a</sup>	0,10 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	195 <sup>a</sup>	1085 <sup>a</sup>	19 <sup>a</sup>
Menos Zn	0,32 <sup>a</sup>	0,54 <sup>b</sup>	5,26 <sup>b</sup>	1,79 <sup>a</sup>	0,12 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	141 <sup>a</sup>	1558 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>
Menos Calcário	0,32 <sup>a</sup>	0,55 <sup>b</sup>	3,71 <sup>c</sup>	0,75 <sup>b</sup>	0,10 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	155 <sup>a</sup>	959 <sup>a</sup>	19 <sup>a</sup>
Testemunha	0,27 <sup>a</sup>	0,41 <sup>c</sup>	3,13 <sup>c</sup>	0,78 <sup>b</sup>	0,12 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	202 <sup>a</sup>	888 <sup>a</sup>	18 <sup>a</sup>
CV (%)	20,8	10,3	21	29,6	22,8	74,7	35,5	42,5	90,7
Tratamento	Fh								
	g/kg					mg/kg			
	K	P	Ca	Mg	Na	Cu	Mn	Fe	Zn
Completo	0,25 <sup>a</sup>	0,99 <sup>a</sup>	19,62 <sup>a</sup>	3,81 <sup>a</sup>	0,10 <sup>a</sup>	47 <sup>a</sup>	152 <sup>a</sup>	2589 <sup>a</sup>	106 <sup>a</sup>
Menos Macro	0,29 <sup>a</sup>	0,47 <sup>b</sup>	13,33 <sup>a</sup>	5,19 <sup>a</sup>	0,10 <sup>a</sup>	27 <sup>b</sup>	106 <sup>b</sup>	2643 <sup>a</sup>	85 <sup>a</sup>
Menos Micro	0,27 <sup>a</sup>	0,96 <sup>a</sup>	11,70 <sup>a</sup>	5,20 <sup>a</sup>	0,10 <sup>a</sup>	2 <sup>b</sup>	105 <sup>b</sup>	2643 <sup>a</sup>	4 <sup>b</sup>
Menos K	0,22 <sup>a</sup>	1,25 <sup>a</sup>	12,64 <sup>a</sup>	4,72 <sup>a</sup>	0,10 <sup>a</sup>	59 <sup>a</sup>	192 <sup>a</sup>	2632 <sup>a</sup>	135 <sup>a</sup>
Menos Zn	0,25 <sup>a</sup>	1,00 <sup>a</sup>	12,51 <sup>a</sup>	4,87 <sup>a</sup>	0,10 <sup>a</sup>	54 <sup>a</sup>	107 <sup>b</sup>	2697 <sup>a</sup>	13
Menos Calcário	0,29 <sup>a</sup>	0,78 <sup>a</sup>	1,53 <sup>b</sup>	0,29 <sup>b</sup>	0,10 <sup>a</sup>	84 <sup>a</sup>	57 <sup>c</sup>	2397 <sup>a</sup>	92 <sup>a</sup>
Testemunha	0,26 <sup>a</sup>	0,23 <sup>b</sup>	0,41 <sup>b</sup>	0,29 <sup>b</sup>	0,10 <sup>a</sup>	2 <sup>b</sup>	22 <sup>c</sup>	2406 <sup>a</sup>	10 <sup>b</sup>
CV (%)	34,7	31,4	63,3	38,4	0,0	73,7	39,8	59,7	7,75

\*Médias com letras iguais não diferem entre si estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (Scott-Knott) ( $p < 0,05$ ).

Os teores de Ca e Mg na testemunha foram acima aos observados na coleta de verão, com exceção do subhorizonte Fh (TABELAS 2 e 6), sugerindo maior liberação desses nutrientes para o solo e a planta e possíveis perdas com a decomposição. Diferente do esperado, as maiores concentrações desses elementos para Ln e Lv ocorreram nos tratamentos com omissão de macronutrientes, enquanto que a maior concentração no subhorizonte Fh ocorreu no tratamento completo

seguido do tratamento sem macronutrientes. Assim, como no inverno, o material orgânico pode ter adsorvido esses nutrientes além de parte do calcário aplicado não ter reagido.

As maiores concentrações de P total no subhorizonte Ln do tratamento com omissão de K (0,60, 0,63 e 1,25 g.kg<sup>-1</sup> para Ln, Lv e Fh respectivamente) seguido do tratamento menos macronutrientes. Ainda assim os teores nas áreas sem intervenção foram abaixo dos observados por Reissmann (1983) e Wisniweski e Reissmann (1996).

Em geral, no cerrado a maior produção de serapilheira ocorre na época da seca (agosto) – espécies caducifólias e nativas, e menos na época das chuvas (janeiro) (SILVA, 1983; MELO; RESCK, 2002), em que os maiores teores encontrados em serapilheira foram de Ca e Mg no período da seca e de K e P no período chuvoso (SILVA, 1983). No presente trabalho os maiores teores de Ca e Mg no subhorizonte Fh foram observados no inverno (TABELA 2). Enquanto que o K apresentou seus maiores teores no inverno (TABELA 2), e o P no verão (TABELA 6), com excessão do subhorizonte Fh. Isto deve-se principalmente a fenologia da espécie pinus.

Porém, apesar da pouca diferença, os maiores teores de Ca e Mg ocorreram durante o inverno (agosto) enquanto que o K e P apresentaram altos teores no verão, com excessão do P apresentado no subhorizonte Fh durante a primeira coleta na testemunha, o qual apresentou alto teor de P. Deve-se ressaltar que os dados apresentados por Silva (1983) refere-se a cerrado localizado no município de Brasília, diferente da área de transição para cerrado em que a presente coleta foi realizada, além da coleta de verão presente ter sido realizada no final do verão (março).

Para os valores de Cu e Zn como ocorrido na coleta de inverno, as maiores concentrações totais ocorreram no subhorizonte Fh, apesar da variação ocorrida entre os teores terem sido maiores em relação a coleta de inverno, confirmando a adsorção de compostos orgânicos, principalmente nas regiões que ocorrem maior taxa de decomposição (SCHNEIDER, 2011).

Os valores de Cu e Zn no Ln e Lv quando da omissão de calcário em relação ao completo confirma a diminuição da capacidade de adsorção do solo e matéria orgânica com decréscimo do pH.

No caso de Cu e Zn, as maiores concentrações totais ocorreram no subhorizonte Fh, apesar da variação ocorrida entre os teores terem sido maiores em relação à coleta de inverno, confirmando a adsorção de compostos orgânicos,

principalmente nas regiões que ocorrem maior taxa de decomposição (SCHNEIDER, 2011). Os valores de Cu e Zn no Ln e Lv quando da omissão de calcário em relação ao completo confirma a diminuição da capacidade de adsorção do solo e matéria orgânica com decréscimo do pH.

Foram observados menores valores de concentração total de Zn no subhorizonte Ln (1 a 21 mg.kg<sup>-1</sup>) em relação à coleta de inverno, mais similares aos observados por Hashimoto (2011) (1,5 mg.kg<sup>-1</sup> até 8,21 mg.kg<sup>-1</sup>) para o mesmo subhorizonte. Já Schneider (2011) observou teores variando entre 4,2 a 6,5 mg.kg<sup>-1</sup> no subhorizonte Ln para um Latossolo. Os resultados ficaram mais próximos aos obtidos por Reissmann (1981) que obteve teores entre 9 a 20 mg.kg<sup>-1</sup> e 10 a 30 mg.kg<sup>-1</sup> para Ln e Lv respectivamente, apesar do teor obtido pela testemunha ainda ser baixo no subhorizonte (1 mg.kg<sup>-1</sup>), porém corroborando com mesmo tratamento no subhorizonte Lv (18 mg.kg<sup>-1</sup>).

Diferente do Cu e Zn, os efeitos observados no Mn deve-se a ação do corretivo e adubo adicionado, uma vez que não foi realizada aplicação deste elemento. Os valores de Mn apresentaram queda nos subhorizontes Ln e Lv.

Quanto mais baixo o pH menor a adsorção do Mn, principalmente nos compostos orgânicos, aumentando a disponibilidade do mesmo e absorção pelas plantas. Apesar disso o tratamento menos calcário não apresentou os menores teores de Mn nos subhorizontes Ln e Lv, sendo estes teores apresentados na testemunha, apesar da testemunha, nos mesmos subhorizontes, também apresentarem altos teores de Mn.

Similarmente ao inverno, as concentrações totais de Fe nos subhorizontes orgânicos, diferentemente do observado para Mn, não foram influenciadas pelos tratamentos. Também foi observado em grande enriquecimento no subhorizonte Fh para todos os tratamentos, corroborando com obtido por Hashimoto (2011) e Schneider (2011). O enriquecimento do Fe era esperado, assim como ocorrido na coleta de inverno, uma vez que representa um elemento abundante no solo. Ainda, no momento da coleta da amostra, qualquer atividade biológica que possa ter deslocado solo mineral aos subhorizontes orgânicos iniciais (Ln e Lv) pode ter contribuído para os altos teores de Fe observados nos resultados.

#### 5.4 FREQUÊNCIA DE ECTOMICORRIZAS E OS TEORES DE NUTRIENTES EM SERAPILHEIRA DE *PINUS TAEDA* – VERÃO

Na segunda coleta (verão) foram observadas a presença de ectomicorrizas em 66 amostras das 140 amostras coletadas (TABELA 7). As maiores respostas de colonização de fungos ocorreram em tratamentos de baixa fertilidade (testemunha e tratamento menos macronutrientes). Porém, diferente do esperado, a omissão de calcário dolomítico não se mostrou eficiente para ocorrência de ectomicorrizas durante o verão, mesmo apesar deste sítio apresentar menor fertilidade. Torna-se necessária a realização de ensaios no sentido de elucidar a colonização de fungos ectomicorrízicos em função da aplicação do calcário, já que seu uso em pínus causa o aumento do pH do substrato, podendo inibir a ocorrência de fungos não adaptados a camadas de serapilheira mais alcalinas.

TABELA 7 – OCORRÊNCIA DE ECTOMICORRIZAS EM RAÍZES DA SERAPILHEIRA DE *PINUS TAEDA* VERIFICADA EM ENSAIO DE OMISSÃO DE NUTRIENTES - JAGUARIAÍVA - PR – VERÃO

Tratamento	Fi (%)	Índice Médio de Colonização
Completo	30 <sup>b</sup>	0,28 <sup>b</sup>
Completo menos macronutrientes	60 <sup>a</sup>	0,65 <sup>a</sup>
Completo menos micronutrientes	25 <sup>b</sup>	0,13 <sup>b</sup>
Completo menos potássio	35 <sup>b</sup>	0,28 <sup>b</sup>
Completo menos zinco	45 <sup>b</sup>	0,23 <sup>b</sup>
Completo menos calcário	50 <sup>a</sup>	0,25 <sup>b</sup>
Testemunha	70 <sup>a</sup>	0,70 <sup>a</sup>
CV (%)	36,93	85,87

\*Médias com letras iguais não diferem entre si estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (Scott-Knott) ( $p < 0,05$ ).

A menor colonização observada no tratamento sem a aplicação de calcário também pode estar associado a algum erro de amostragem, coincidindo na coleta em que os fungos ectomicorrízicos não estivessem presentes. Deve-se ressaltar que, o tratamento com omissão de calcário foi o terceiro com maior frequência, porém a colonização no mesmo não se mostrou eficiente, obtendo um menor índice de colonização.

Na segunda coleta de serapilheira foi observada correlação entre alguns dos nutrientes, embora na sua maioria negativa, encontrados nos subhorizontes em relação à nota de quadrantes colonizados no subhorizonte Fh (TABELA 8).

TABELA 8 – CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE O ÍNDICE MÉDIO DE COLONIZAÇÃO DE ECTOMICORRIZAS EM *PINUS TAEDA* NO SUBHORIZONTE ORGÂNICO FH E OS TEORES TOTAIS DE NUTRIENTES NA SERAPILHEIRA – – JAGUARIAÍVA – PR - VERÃO

Subhorizonte	K	Ca	Mg	P	Na	Cu	Mn	Fe	Zn
Ln	-0,74*	-0,24 <sup>ns</sup>	-0,16 <sup>ns</sup>	-0,86**	0,33 <sup>ns</sup>	-0,14 <sup>ns</sup>	0,64 <sup>ns</sup>	-0,36 <sup>ns</sup>	-0,40 <sup>ns</sup>
Lv	-0,31 <sup>ns</sup>	-0,14 <sup>ns</sup>	-0,12 <sup>ns</sup>	-0,69*	0,33 <sup>ns</sup>	-0,21 <sup>ns</sup>	0,83**	-0,16 <sup>ns</sup>	-0,47 <sup>ns</sup>
Fh	0,28 <sup>ns</sup>	-0,34 <sup>ns</sup>	-0,32 <sup>ns</sup>	-0,86**	-0,95**	-0,41 <sup>ns</sup>	-0,45 <sup>ns</sup>	-0,35 <sup>ns</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>

\*: Valores significativos ao nível de 10% ( $p < 0,10$ ); \*\*: Valores significativos ao nível de 5 % ( $p < 0,05$ ); ns: Valores não significativos.

O P apresentou correlação em todos os subhorizontes, porém, diferente do esperado, a correlação apresentada foi negativa.

O Mn demonstrou correlações com a colonização de ectomicorrizas, porém somente apresentou-se significativa no subhorizonte Lv. Esta correlação pode ser explicada pela sensibilidade demonstrada pelo Mn com calagem e omissão de macronutrientes, visto que, de acordo com o subhorizonte ocorreu relação positiva ou negativa.

O K apresentou correlação negativa que, apesar de não ser significativo, obteve valor maior de correlação em relação ao obtido no Lv, também negativo.

Foi observada a relação inversa entre concentração de Ca e Mg e o índice médio de ocorrência de ectomicorrizas, que, apesar de não significativa, mostrou a redução de ocorrência de ectomicorrizas na presença de calcário.

Em relação ao N%, C% e C/N os tratamentos não apresentaram diferença entre si, indicando que a adubação realizada não obteve efeito (TABELA 9). Esses parâmetros não se demonstraram eficientes para ser usado como indicador de ocorrência de ectomicorrizas. Também não foi identificada correlação com valores de C, N e C/N e a ocorrência de ectomicorrizas no subhorizonte Fh (0,10 %; 0,00 % e - 0,42 % para N, C e C/N respectivamente).

TABELA 9 – TEORES DE N, C E RELAÇÃO C/N NO SUBHORIZONTE ORGÂNICO FH - VERÃO

Tratamento	N%	C%	C/N
Completo	0,47 <sup>a</sup>	12,11 <sup>a</sup>	25,59 <sup>a</sup>
Menos Macro	0,52 <sup>a</sup>	12,94 <sup>a</sup>	24,71 <sup>a</sup>
Menos Micro	0,65 <sup>a</sup>	16,37 <sup>a</sup>	25,38 <sup>a</sup>
Menos K	0,58 <sup>a</sup>	15,75 <sup>a</sup>	26,80 <sup>a</sup>
Menos Zn	0,48 <sup>a</sup>	11,88 <sup>a</sup>	24,30 <sup>a</sup>
Menos Calcário	0,78 <sup>a</sup>	20,79 <sup>a</sup>	26,72 <sup>a</sup>
Testemunha	0,70 <sup>a</sup>	16,85 <sup>a</sup>	24,43 <sup>a</sup>
CV (%)	32,28	30,24	5,49

\*Médias com letras iguais diferiram entre si estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (Scott-Knott)

## 5.5 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO NA FREQUÊNCIA DE ECTOMICORRIZAS

Analisando-se as médias dos teores de nutrientes disponíveis para cada tratamento, pode-se observar baixo efeito da adubação realizada após três anos de aplicação (TABELA 10).

As concentrações de macronutrientes no perfil de 0-5 cm, para a testemunha, foram considerados baixos (0,40, 0,23 e 0,01 cmolc.dm<sup>-3</sup> para Ca, Mg e K), com exceção do P que apresentou teor médio (19,50 mg.dm<sup>-3</sup>) segundo a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2004). Hashimoto (2011) em análises no mesmo ensaio, no ano de 2010, apresentou teores de macronutrientes menores do que os observados (0,15, 0,10, 0,04 e 3,85 cmolc.dm<sup>-3</sup> para Ca, Mg, K e P). O mesmo se repetiu em uma área de Cambissolo (0,22, 0,16 e 0,03 cmolc.dm<sup>-3</sup> para Ca, Mg e K) e Latossolo (0,09, 0,05 e 0,04 cmolc.dm<sup>-3</sup> para Ca, Mg e K) (BATISTA, 2011).

O Ca apresentou menor mobilidade em relação ao Mg e o K, sendo o efeito corretivo restrito às camadas superficiais. Cabe ressaltar que parte do calcário aplicado a lanço ficou depositado sobre a serapilheira, justificando os maiores teores presentes atualmente no solo do que os encontrados por Hashimoto (2011).

Os teores de P se apresentaram médios na testemunha, também se destacando os altos teores obtidos nos tratamentos menos micro (45,28 mg.dm<sup>-3</sup>) e menos zinco (52,99 mg.dm<sup>-3</sup>). Hashimoto observou teores muito baixos daquele encontrado atualmente (3,85 mg.dm<sup>-3</sup>).

TABELA 10 – ATRIBUTOS QUÍMICOS MÉDIOS DO SOLO ENCONTRADOS EM CADA TRATAMENTO (0 - 5 CM) – JAGUARIAÍVA – PR

MÉDIAS TRATAMENTOS	pH CaCl <sub>2</sub>	pH SMP	cmolc.dm <sup>-3</sup>					mg.dm <sup>-3</sup>	g.dm <sup>-3</sup>	mg.dm <sup>-3</sup>			
			Al	H+Al	Ca	Mg	K	P	C	Cu	Mn	Fe	Zn
Completo	4,54 <sup>a</sup>	5,87 <sup>a</sup>	0,37 <sup>b</sup>	6,19 <sup>a</sup>	6,73 <sup>a</sup>	7,26 <sup>a</sup>	0,01 <sup>a</sup>	28,76 <sup>a</sup>	39,46 <sup>a</sup>	0,30 <sup>a</sup>	0,31 <sup>a</sup>	6,09 <sup>a</sup>	0,48 <sup>a</sup>
Menos Macro	4,25 <sup>a</sup>	5,59 <sup>a</sup>	1,01 <sup>b</sup>	7,84 <sup>a</sup>	5,95 <sup>a</sup>	7,07 <sup>a</sup>	0,00 <sup>a</sup>	04,61 <sup>b</sup>	31,72 <sup>a</sup>	0,37 <sup>a</sup>	0,21 <sup>a</sup>	6,36 <sup>a</sup>	0,44 <sup>a</sup>
Menos Micro	4,62 <sup>a</sup>	5,81 <sup>a</sup>	0,52 <sup>b</sup>	6,42 <sup>a</sup>	9,65 <sup>a</sup>	9,35 <sup>a</sup>	0,00 <sup>a</sup>	45,28 <sup>a</sup>	33,39 <sup>a</sup>	0,04 <sup>a</sup>	0,33 <sup>a</sup>	7,94 <sup>a</sup>	0,20 <sup>b</sup>
Menos K	4,38 <sup>a</sup>	5,81 <sup>a</sup>	0,77 <sup>b</sup>	6,73 <sup>a</sup>	5,77 <sup>a</sup>	6,17 <sup>a</sup>	0,01 <sup>a</sup>	35,56 <sup>a</sup>	31,61 <sup>a</sup>	0,22 <sup>a</sup>	0,22 <sup>a</sup>	4,95 <sup>a</sup>	0,49 <sup>a</sup>
Menos Zn	4,45 <sup>a</sup>	5,85 <sup>a</sup>	0,56 <sup>b</sup>	6,21 <sup>a</sup>	7,29 <sup>a</sup>	7,09 <sup>a</sup>	0,01 <sup>a</sup>	40,47 <sup>a</sup>	29,16 <sup>a</sup>	0,18 <sup>a</sup>	0,17 <sup>a</sup>	5,35 <sup>a</sup>	0,14 <sup>b</sup>
Menos Calcário	3,83 <sup>a</sup>	5,38 <sup>a</sup>	2,69 <sup>a</sup>	9,18 <sup>a</sup>	0,65 <sup>b</sup>	0,34 <sup>b</sup>	0,00 <sup>a</sup>	52,99 <sup>a</sup>	32,68 <sup>a</sup>	0,24 <sup>a</sup>	0,13 <sup>a</sup>	4,83 <sup>a</sup>	0,46 <sup>a</sup>
Testemunha	3,44 <sup>a</sup>	5,93 <sup>a</sup>	2,48 <sup>a</sup>	7,69 <sup>a</sup>	0,40 <sup>b</sup>	0,23 <sup>b</sup>	0,01 <sup>a</sup>	19,50 <sup>b</sup>	28,23 <sup>a</sup>	0,10 <sup>a</sup>	0,31 <sup>a</sup>	4,59 <sup>a</sup>	0,08 <sup>b</sup>

\*Médias com letras iguais não diferem entre si estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (Scott-Knott) ( $p < 0,05$ ). ns: Valores não significativos.

Foram observados aumento no pH por meio da aplicação do calcário que neutralizou o Al, na testemunha e no tratamento menos calcário. O pínus é uma espécie tolerante à acidez (ALEXANDER; CRESSER, 1995), estudos relacionaram que a correção da acidez ao índice de 5,6 e redução do  $\text{Al}^{3+}$  ( $1,4 \text{ cmolc.dm}^{-3}$ ) promoveu o crescimento e melhor aproveitamento de pínus (CORREA, 2007).

Baixos valores de pH estão relacionados à decomposição da serapilheira que liberará compostos orgânicos ácidos, além da acidificação causada pela exsudação de ácidos orgânicos na rizosfera (SILVA *et al.*, 2002).

Os teores de micronutrientes ficaram, na maioria, abaixo do encontrado na literatura. Lopes (1984) apesar de ter analisado o solo na profundidade de 0 – 20 cm em condições naturais de cerrado encontrou valores de Cu, Mn, Fe e Zn respectivamente de 0,97, 5,47, 29,67 e 0,83  $\text{mg.dm}^{-3}$ , diferente dos baixos valores encontrados neste trabalho de Cu, Mn, Fe e Zn (0,10  $\text{mg.dm}^{-3}$ , 0,31  $\text{mg.dm}^{-3}$ , 4,59  $\text{mg.dm}^{-3}$  e 0,08  $\text{mg.dm}^{-3}$  para a testemunha e 0,30  $\text{mg.dm}^{-3}$ ; 0,31  $\text{mg.dm}^{-3}$ ; 6,09  $\text{mg.dm}^{-3}$  e 0,48  $\text{mg.dm}^{-3}$  para o tratamento completo respectivamente) para a profundidade de 0 – 5 cm. As concentrações obtidas no presente trabalho foram consideradas baixas (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2004).

Hashimoto (2011), ao realizar análise do solo na mesma área do ensaio, obteve teores mais elevados para os micronutrientes para o tratamento completo (10,23, 6,21, 30,56 e 5,67  $\text{mg.dm}^{-3}$  respectivamente para Cu, Mn, Fe e Zn respectivamente) e a testemunha com 0,89, 0,74; 43,66 e 0,23  $\text{mg.dm}^{-3}$  para Cu, Mn, Fe e Zn.

Valores abaixo de 4  $\text{mg.dm}^{-3}$  de Mn em solos são considerados baixos (COSTA; OLIVEIRA, 1998). Em ensaio similar realizado por Schneider (2011) em solo diferente (Cambissolo háplico distrófico e Latossolo vermelho amarelo), próximo ao estudo, encontraram-se valores baixos de Mn ao esperado para os tratamentos testemunha (0,55 e 0,5  $\text{mg.dm}^{-3}$ ) e completo (3,12  $\text{mg.dm}^{-3}$  e 1,2  $\text{mg.dm}^{-3}$ ). Para os demais nutrientes, este autor também encontrou baixos teores de Cu, Fe e Zn em um Cambissolo (0,33, 64,20 e 0,18  $\text{mg.dm}^{-3}$  respectivamente para testemunha e 2,60, 57,10 e 1,48  $\text{mg.dm}^{-3}$  para tratamento completo). É importante salientar que a matéria orgânica tende a reter os micronutrientes em ambientes com solos ácidos (KABATA PENDIAS; PENDIAS, 1991), fator este que explicaria os altos teores de micronutrientes encontrados na serapilheira (especificamente no subhorizonte orgânico Fh) e os baixos teores no solo.

O aumento do pH reduzirá a disponibilidade de micronutrientes, principalmente de Mn e Cu (MALAVOLTA, 1980; MOTTA *et al.*, 2007), porém esta situação não foi observada no ensaio visto a aplicação do calcário dolomítico ter sido realizada apenas para disponibilização para a planta e não para a correção do pH do solo, resultando, íferente do esperado, teores menores de Cu, Fe e Zn na testemunha e maiores teores nos tratamentos em que foram aplicados calcário e adubação.

Porém o uso da adubação e do calcário contribuíram, após cinco anos, para menor teor de Mn, fator este também observado por Batista (2011).

Lopes *et al.* (2008) indicou uma grande ocorrência de raízes finas no solo em florestas nativas, RS, e Lopes (2009) também observou em floresta de *Pinus taeda*. Apesar disso não foi observado a ocorrência de raízes finas no solo analisado do presente trabalho. Apesar de uma elevada proporção de raízes ectomicorrízicas se formarem, entre as partículas do solo e no próprio contato direto do solo (TAYLOR, 1987), não foi observado a ocorrência de ectomicorrizas na profundidade de 0-5 cm, somente micélio de fungos ectomicorrízicos isolados.

Rosling *et al.* (2003) observou a ocorrência 65% de raízes finas e de fungos ectomicorrízicos em um solo mineral (Podosolo). Rosling e Rosenstock (2008) ressaltaram que a ocorrência de fungos ectomicorrizicos ao longo do solo mineral também pode depender de características do horizonte do solo. A ocorrência de comunidades ectomicorrízica em raízes finas relacionadas a diferentes componentes do solo de florestas são altamente variáveis na escala de 5 centímetros (TEDERSOO *et al.*, 2003), porém são raros estudos que relacionam características nesta escala de solo e a diversidade de fungos ectomicorrizicos (ROSLING; ROSENSTOCK, 2008).

Em estudo de distribuição vertical de fungos ectomicorrizicos em solo mineral (0 – 53 cm) não foi observada correlação com colonização de ectomicorrizas no mesmo solo e as variáveis químicas do solo analisada (ROSLING *et al.*, 2003), diferente do presente trabalho que apresentou correlações entre nutrientes do solo (0 - 5 cm) e da serapilheira e a colonização pelos fungos.

A Tabela 11 apresenta as correlações entre a ocorrência das ectomicorrizas obtidas através do subhorizonte orgânico Fh em relação às propriedades químicas obtidas no solo (0 – 5 cm).

TABELA 11 – CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE O ÍNDICE MÉDIO DE COLONIZAÇÃO POR FUNGOS ECTOMICORRÍZICOS NO SUBHORIZONTE ORGÂNICO FH E OS ATRIBUTOS QUÍMICOS OBTIDOS POR MEIO DE ANÁLISE DE SOLO (0 – 5 CM) – JAGUARIAÍVA - PR

ATRIBUTOS QUÍMICOS	VALOR DE CORRELAÇÃO
pH CaCl <sup>2</sup>	-0,41 <sup>ns</sup>
pH SMP	-0,17 <sup>ns</sup>
Al	0,89 <sup>**</sup>
H+Al	0,71 <sup>*</sup>
Ca	-0,84 <sup>**</sup>
Mg	-0,84 <sup>**</sup>
K	-0,22 <sup>ns</sup>
P	-0,27 <sup>ns</sup>
C	-0,60 <sup>ns</sup>
Cu	-0,19 <sup>ns</sup>
Mn	0,00 <sup>ns</sup>
Fe	-0,51 <sup>ns</sup>
Zn	-0,31 <sup>ns</sup>

\*: Valores significativos ao nível de 10%, ( $p < 0,10$ ). \*\*: Valores significativos ao nível de 5%, ( $p < 0,05$ ). ns: Valores não significativos

Somente o Al e H+Al apresentaram correlação positiva significativa com a ocorrência das ectomicorrizas no subhorizonte orgânico Fh em relação às propriedades químicas obtidas no solo (0 – 5 cm). Para os demais nutrientes, a correlação foi negativa, destacando o Ca e o Mg que apresentaram as menores correlações. Este resultado indica que quanto maior o teor de Al, maior a colonização de fungos ectomicorrizicos.

O menor valor de pH e os altos teores de alumínio podem refletir no maior armazenamento de Ca e Mg no tecido fúngico para então ser disponibilizado para a planta. A aplicação de Ca e Mg em mudas de eucalipto aumentou os teores desses nutrientes na parte aérea da muda em relação às mudas não micorrizadas, reduzindo a necessidade de aplicação desses nutrientes (DIAS JÚNIOR *et al.*, 1994). No caso de pinus, a aplicação de calcário e a regulação do pH são desnecessários.

Em eucalipto, cristais orgânicos presentes nas raízes juntamente com ectomicorrizas podem ter papel da destoxificação de alumínio e outros elementos tóxicos (GONZALES *et al.*, 2009). A produção de ácidos orgânicos e de cristais de cálcio podem aumentar a intemperização do solo, aumentando a ciclagem de Ca e de Al (GRAUSTEIN *et al.*, 1977).

Alguns fungos ectomicorrízicos podem induzir o armazenamento de Ca no sistema radicular, e disponibilizar mais Ca para a planta (GONZALES *et al.*, 2009). Ainda segundo este autor, cada ectomicorriza pode responder diferencialmente na produção de ácidos orgânicos (GONZALES *et al.*, 2009).

## 5.6 INFLUÊNCIA DE NUTRIENTES NA OCORRÊNCIA DE ESPOROCARPOS EM TRÊS MÊSES (MARÇO, JULHO E OUTUBRO).

Ao realizar análise da ocorrência de corpos de frutificação ectomicorrízicos foram observados a existência de três espécies distintas: *Scleroderma* sp., *Laccaria* sp. e *Amanita* sp. (TABELA 12).

Na área estudada, a maior produção de esporocarpos ocorreu durante março (835 corpos de frutificação) e de julho (668 corpos de frutificação) enquanto que no mês de outubro não foram observados esporocarpos. Diferente do observado neste trabalho, a maior ocorrência de corpos de frutificação está associada ao período do inverno (meses de junho, julho e agosto) e os mínimos no verão (dezembro, janeiro, fevereiro e início de março) (COLOZZI FILHO, 1999). Deve-se ressaltar que a primeira coleta foi realizada em 10 de março, período de transição para o outono (20 de março), justificando a alta quantidade de corpos de frutificação observada durante esta coleta. Andreazza *et al.* (2008) também encontraram corpos de frutificação somente no outono, não observando no inverno nem na primavera. Giachini *et al.* (2004) corroborando com o presente trabalho, encontrou maior quantidade de esporocarpos durante o outono e o inverno.

No mês de março, a maior produção de esporocarpos ocorreu no tratamento menos zinco (178) seguido do tratamento menos macronutrientes (141), destacando a maior ocorrência de *Laccaria* sp. para ambos tratamentos. Já a menor produção de corpos de frutificação ocorreu nos tratamentos completo e testemunha (67 e 71, respectivamente) destacando a maior ocorrência de *Scleroderma* sp. (39 e 37 para o tratamento completo e para a testemunha, respectivamente).

TABELA 12 – ESPOROCARPOS ECTOMICORRÍZICOS EM TRÊS ÉPOCAS DO ANO EM TESTE DE OMISSÃO DE NUTRIENTES DE *P. TAEDA* COM DEZ ANOS DE IDADE – JAGUARIAÍVA - PR.

TRATAMENTO	COLETA	FUNGO	ESPOROCARPO	
Completo	Março	<i>Scleroderma</i> sp.	39	
		<i>Laccaria</i> sp.	28	
	Julho	<i>Scleroderma</i> sp.	23	
		<i>Laccaria</i> sp.	47	
		<i>Amanita</i> sp.	3	
	Outubro	-	-	
	Menos Macronutrientes	Março	<i>Scleroderma</i> sp.	45
			<i>Laccaria</i> sp.	93
<i>Amanita</i> sp.			2	
Julho		<i>Scleroderma</i> sp.	26	
		<i>Laccaria</i> sp.	73	
Outubro		-	-	
Menos Micronutrientes		Março	<i>Scleroderma</i> sp.	24
			<i>Laccaria</i> sp.	109
	<i>Amanita</i> sp.		3	
	Julho	<i>Scleroderma</i> sp.	24	
		<i>Laccaria</i> sp.	98	
	Outubro	-	-	
	Menos Potássio	Março	<i>Scleroderma</i> sp.	57
			<i>Laccaria</i> sp.	48
Julho		<i>Scleroderma</i> sp.	17	
		<i>Laccaria</i> sp.	30	
Outubro		-	-	
Menos Zinco		Março	<i>Scleroderma</i> sp.	48
			<i>Laccaria</i> sp.	129
		Julho	<i>Scleroderma</i> sp.	38
	<i>Laccaria</i> sp.		108	
	<i>Amanita</i> sp.		2	
	Outubro	-	-	
	Menos Calcário	Março	<i>Scleroderma</i> sp.	21
			<i>Laccaria</i> sp.	102
<i>Amanita</i> sp.			1	
Julho		<i>Scleroderma</i> sp.	40	
		<i>Laccaria</i> sp.	16	
Outubro		-	-	
Testemunha		Março	<i>Scleroderma</i> sp.	37
			<i>Laccaria</i> sp.	33
	Julho	<i>Scleroderma</i> sp.	105	
		<i>Laccaria</i> sp.	12	
	Outubro	-	-	

FONTE: O autor (2013).

Nos meses de março e de julho o tratamento com omissão de zinco apresentou maior ocorrência de corpos de frutificação (148) e, diferente do ocorrido em março, a segunda maior ocorrência de corpos de frutificação foi no tratamento menos micronutrientes (125), destacando também a maior ocorrência do fungo *Laccaria* sp. As menores ocorrências de esporocarpos foram nos tratamentos menos potássio e menos calcário (44 e 57, respectivamente) destacando a maior ocorrência de *Laccaria* no tratamento menos K (30) e de *Scleroderma* sp. no menos calcário (40).

Os resultados não indicaram relação isolada da aplicação da adubação e da calagem na ocorrência de corpos de frutificação ectomicorrízicos após quatro anos, indicando que cada espécie de fungo ectomicorrízico dependerá de características específicas para seu desenvolvimento na floresta.

Além da ocorrência estar associada a época do ano, os fungos também poderão apresentar fenômenos de sucessão em função da idade da floresta (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; SOUZA *et al.*, 2006). Isto decorre da demanda nutricional desses fungos pois, em florestas adultas, os solos possuem mais carboidratos e nutrientes orgânicos do que em florestas novas, sendo o carboidrato e nutriente orgânico mais exigido por fungos tardios como a *Amanita* sp. (SOUZA *et al.*, 2006; GIBSON; DEACON, 1990). Espécies como o *Scleroderma* sp. e a *Laccaria* sp. são consideradas como fungos ectomicorrízicos multiestádios, pois foram observados em plantio de diversas idades (GIACHINI; OLIVEIRA, 1996).

A seguir, será discutida a relação das espécies identificadas com o ensaio realizado.

#### 5.6.1 *Scleroderma* sp.

Foram observados 544 esporocarpos de *Scleroderma* sp (FIGURA 4). Este gênero pode ser encontrado em plantios de *Pinus* e *Eucalyptus*, sendo mais comum a ocorrência de *Scleroderma citrinum* em reflorestamento de pinus (MEIJER, 2008).



FIGURA 4 – Corpos de frutificação de *Scleroderma* sp. FONTE: O autor (2013).

A ocorrência de esporocarpos nos meses de março e julho foram semelhantes (271 e 273 corpos de frutificação respectivamente) enquanto que na coleta de outubro não foram observados corpos de frutificação. Ambas épocas de coleta não apresentaram diferença estatística em seus tratamentos com exceção da testemunha em coleta realizada no inverno (TABELA 13).

TABELA 13 – QUANTIDADE DE CORPOS DE FRUTIFICAÇÃO DE *SCLERODERMA* SP. OBSERVADOS EM CADA TRATAMENTO POR ÉPOCA DE COLETA EM ENSAIO DE OMISSÃO DE NUTRIENTE EM *PINUS TAEDA* – JAGUARIAÍVA - PR.

TRATAMENTO	MARÇO	JULHO	OUTUBRO
Completo	39 <sup>b</sup>	23 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>
Menos Macro	45 <sup>b</sup>	26 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>
Menos Micro	24 <sup>b</sup>	24 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>
Menos K	57 <sup>b</sup>	17 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>
Menos Zn	48 <sup>b</sup>	38 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>
Menos Calcário	21 <sup>b</sup>	40 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>
Testemunha	37 <sup>b</sup>	105 <sup>a</sup>	0 <sup>b</sup>

\*Médias com letras iguais não diferem entre si estatisticamente ao nível de 10% de probabilidade (Scott-Knott) ( $p < 0,10$ ).

A maior ocorrência de *Scleroderma* sp. na coleta de inverno foi na testemunha, seguida do tratamento sem calcário para corpos de frutificação coletados no inverno, repetindo o ocorrido durante a coleta de serapilheira no inverno, em que o maior ICM foi na testemunha (TABELA 3). O mesmo ocorreu no verão em que em ambas avaliações (ocorrência de corpos de frutificação de *Scleroderma* sp. e ocorrência de fungos ectomicorrízicos no subhorizonte Fh) apresentaram as maiores ocorrências

para o tratamento menos Zn e menos K, apesar de não apresentarem diferença estatística.

Estes resultados podem indicar que no inverno, camadas de serapilheira com baixa qualidade nutricional, caso da testemunha e do tratamento com omissão de calcário, permitiram maior ocorrência de *Scleroderma* sp. indicando maior especificidade deste fungo na ocorrência em áreas de sítios com baixos teores nutricionais.

*Scleroderma* sp. é uma espécie que ocorrerá durante todo o ciclo da árvore (OLIVEIRA *et al.*, 2010). Este gênero foi observado em plantios de *Pinus taeda* nos municípios de Correia Pinto (SC), Três Barras (SC), áreas estas com pH baixo (4,0 e 4,1 respectivamente) e reflorestamentos com idade adulta (14 e 16 anos respectivamente) (GIACHINI *et al.*, 2000; GIACHINI *et al.*, 2004), além de plantios de *P. taeda* nos municípios de Caçador (SC) (FREIRE *et al.*, 2012). Também foram observados a ocorrência de *Scleroderma* spp. em João Pessoa (PB) em *Pinus* sp. (GURGEL *et al.*, 2008). Krüger e Tomazello Filho (1981) observaram a ocorrência deste fungo na região Sul, Sudeste e Centro-Oeste.

#### 5.6.2 *Laccaria* sp.

No caso de *Laccaria* sp foram observados 926 esporocarpos (FIGURA 5).



FIGURA 5 – Corpos de frutificação de *Laccaria* sp. FONTE: O autor (2013).

A ocorrência de esporocarpos deste fungo em março foi superior ao encontrado no mês de julho (542 e 384, respectivamente), enquanto que na coleta de outubro não foram observados corpos de frutificação. Somente apresentou diferença estatística nos tratamentos menos macro, menos micro e o menos zinco coletados em junho (TABELA 14).

TABELA 14 – QUANTIDADE DE CORPOS DE FRUTIFICAÇÃO DE *LACCARIA* SP. OBSERVADOS EM CADA TRATAMENTO POR ÉPOCA DE COLETA EM UM ENSAIO DE OMISSÃO DE NUTRIENTE EM *PINUS TAEDA* – JAGUARIAÍVA - PR.

TRATAMENTO	MARÇO	JULHO	OUTUBRO
Completo	28 <sup>b</sup>	47 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>
Menos Macro	93 <sup>b</sup>	73 <sup>a</sup>	0 <sup>b</sup>
Menos Micro	109 <sup>b</sup>	98 <sup>a</sup>	0 <sup>b</sup>
Menos K	48 <sup>b</sup>	30 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>
Menos Zn	129 <sup>b</sup>	108 <sup>a</sup>	0 <sup>b</sup>
Menos Calcário	102 <sup>b</sup>	40 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>
Testemunha	33 <sup>b</sup>	12 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>

\*Médias com letras iguais não diferem entre si estatisticamente ao nível de 10% de probabilidade (Scott-Knott) ( $p < 0,10$ ).

Ao contrário do *Scleroderma* sp., a testemunha apresentou menor quantidade de esporocarpos de *Laccaria* sp. A maior ocorrência de corpo de frutificação de *Laccaria* sp. foi no tratamento menos zinco para março e para julho. Em julho, a presença de calcário também se demonstrou limitante para a ocorrência de corpos de frutificação de *Laccaria* sp., indicando sua exigência quanto a qualidade nutricional do sítio.

Estes resultados podem indicar que no inverno, áreas com melhores qualidades nutricionais e sem a ocorrência de grandes quantidades de micronutrientes (principalmente o zinco) permite maior frutificação deste fungo.

Assim como o *Scleroderma* sp, a frutificação de *Laccaria* spp. ocorrerá durante todo o ciclo da árvore (OLIVEIRA *et al.*, 2010). Este gênero também foi encontrado em plantios de *Pinus taeda*, *Pinus elliottii* e *Eucalyptus* sp. nos municípios de Correia Pinto (SC), Três Barras (SC), Florianópolis (SC) e Joinville (SC) (GIACHINI *et al.*, 2000; GIACHINI *et al.*, 2004). Andrezza *et al.* (2008) também observou frutificações destes fungos em área nativa próxima a áreas de pinus em Boca do Monte (RS), se repetindo no município de Caçador (SC) (FREIRE *et al.*, 2012).

### 5.6.3 *Amanita* sp.

*Amanita* sp. é uma das espécies de fungos ectomicorrizicos que realiza associação com *Pinus* sp. e algumas espécies folhosa, comum na Europa (principalmente Espanha e Ilhas Canárias) (FEDERAÇÃO DOS PRODUTORES FLORESTAIS DE PORTUGAL, 2008). A espécie ectomicorrizica mais comum associada ao *P. taeda* é a *A. muscaria* (MEIJER, 2008). Foi o fungo que apresentou menor ocorrência de corpos de frutificação, totalizando em 11 esporocarpos (FIGURA 6).



FIGURA 6 – Corpos de frutificação de *Amanita* sp. FONTE: O autor (2013).

Apesar de, no Brasil, o gênero *Amanita* spp. ter grande especificidade em plantios de pinus (OLIVEIRA *et al.*, 2010), a ocorrência de esporocarpos foi baixa e de forma similar no final do verão e no inverno (seis e cinco corpos de frutificação respectivamente), e não ocorrendo nos mesmos tratamentos, enquanto que na coleta de primavera não foram observados corpos de frutificação. Em ambas épocas de coleta não houve diferença estatística (TABELA 15). A frutificação dessa mesma espécie também está relacionada ao estágio da floresta, visto a mesma ser encontrada em plantios adultos (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

TABELA 15 – QUANTIDADE DE CORPOS DE FRUTIFICAÇÃO DE *AMANITA* SP. OBSERVADOS EM CADA TRATAMENTO POR ÉPOCA DE COLETA EM UM ENSAIO DE OMISSÃO DE NUTRIENTE EM *PINUS TAEDA* – JAGUARIAÍVA - PR.

TRATAMENTO	MARÇO	JULHO	OUTUBRO
Completo	0 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
Menos Macro	2 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
Menos Micro	3 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
Menos K	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
Menos Zn	0 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
Menos Calcário	1 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
Testemunha	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>

\*Médias com letras iguais não diferem entre si estatisticamente ao nível de 10% de probabilidade (Scott-Knott) ( $p < 0,10$ ).

Apesar do tratamento menos zinco no inverno possuir ocorrência de *Amanita* sp. a quantidade encontrada não foi suficiente para identificar dependência de nutriente, tanto para o verão como no inverno.

Em áreas de *Pinus taeda* nos municípios de Correia Pinto e Três Barras (SC) em solos com pH de 4,1 e 4,0 e idades de 16 e 14 anos respectivamente foi observado este gênero (GIACHINI *et al.*, 2000; GIACHINI *et al.*, 2004). Este gênero também foi observado por Freire (2012) no município de Caçador (SC). Sua frutificação ocorre durante setembro até março (MEIJER, 2008).

## 6 CONCLUSÕES

- A maior frequência de ectomicorrizas em *Pinus taeda* foi verificada no subhorizonte Fh da serapilheira.
- Independente da época avaliada, a maior frequência de ectomicorrizas ocorreu na testemunha, seguido pelos tratamentos com menor quantidade de nutrientes.
- Os nutrientes Ca e Mg influenciaram negativamente a ocorrência de ectomicorrizas na serapilheira, principalmente no verão.
- O nutriente P influenciou significativamente na ocorrência de ectomicorrizas na serapilheira, sendo negativa durante o inverno e positiva durante o verão.
- Os teores de C, N e relação C/N não apresentaram correlação com a colonização de fungos ectomicorrízicos na serapilheira.
- Para os atributos químicos do solo (0-5 cm), verificou-se correlação significativa e positiva com o Al e significativa e negativa para Ca e Mg para o índice de colonização micorrízica.
- Três fungos ectomicorrízicos foram identificados: *Scleroderma* sp., *Laccaria* sp. e *Amanita* sp.
- A maior quantidade de esporocarpos de *Scleroderma* sp. ocorreu no inverno na testemunha.
- A maior quantidade de esporocarpos de *Laccaria* sp. ocorreu no final do verão nos tratamentos sem aplicação de micronutrientes, principalmente Zn.
- A produção de esporocarpos de *Amanita* sp. não seguiu padrão específico de ocorrência.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2013, ano base 2012**. Brasília: ABRAF, 2013.

ALEXANDER, C. E.; CRESSER, M. S. An assesment of the possible impact of expansion of native woodland on the chemistry of Scottish freshwater. **Forestry Ecology Management**, v. 73, p. 1-27, 1995.

ANDREAZZA, R.; ANTONIOLLI, Z. I.; OLIVEIRA, V. L.; LEAL, L. T.; MORO JUNIOR, C. A.; PIENIZ, S. ocorrência de associação micorrízica em seis essências florestais nativas do estado do rio grande do sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 3, p. 339 - 346, 2008.

ASHFORD, A. E.; VESK, P. A.; ORLOVICH, D. A.; MARKOVINA, A. L.; ALLAWAY, W.G. Dispersed polyphosphate in fungal vacuoles in *Eucalyptus pilularis* *Pisolithus tinctorius* ectomycorrhizas. **Fungal Genetics and Biology**, v. 28, p. 21 - 33, 1999.

BABEL, U. Gliederung und beschreibung des humusprofila in mitteleuropäischen Wäldern. **Geoderma**, v. 5, p. 297 – 324, 1971.

BABEL, U. **Moderprofile in Wäldern**. Stuttgart, Eugen Ulmer, 1972.

BAKSHI, B. K.; KUMAR, O. Forest tree micorrhiza. **Indian forester**, Dehra Dun, v. 52, p. 79 - 84, 1968.

BALLONI, E. A. **Efeitos da fertilização mineral sobre o desenvolvimento de *Pinus caribea* Morelet var. *bahamensis* (Griseb) Barret et Golfari em solo de cerrado do Estado de São Paulo**. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1984.

BATISTA, A.H. **Influência da calagem e adubação na acidez do solo e ciclagem de K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> em plantios de *Pinus taeda* L. no pólo florestal de Jaguariaíva-PR**. 41 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – UFPR: Curitiba, 2011.

BERTOLAZI, A. A.; CANTON, G. C.; AZEVEDO, I. G.; CRUZ, Z. M. A.; SOARES, D. N.; CONCEIÇÃO, J. M.; SANTOS, W. O; RAMOS, A. C. O papel das ectomicorrizas na biorremediação dos metais pesados no solo. **Natureza on line**, Santa Tereza, v. 8, n. 1., p. 24 – 31, 2010.

BELLEI, M. M.; CARVALHO, E. M. Ectomicorrizas. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p. 297-318.

BONNASSIS, P. A. P. **Caracterização de isolados fúngicos ectomicorrízicos na promoção do crescimento e na colonização radicular de *Eucaliptus dunnii***

**Maiden.** 73 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia e Biociências) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

BRUM, E. Composição química de acículas verdes e da litteira de *Pinus elliottii* Engelm. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 11, p. 17 - 23, 1980.

CANTON, G. C. **Efeito do manganês sobre a ecofisiologia e a bioquímica de ectomicorizas.** 61 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ecossistemas) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Vila Velha, Vila Velha, 2012.

CARDOSO, E. J. B. N.; CARDOSO, I. M.; NOGUEIRA, M. A.; BARRETA, C. R. D. M.; PAULA, A. M. Micorizas arbusculares na aquisição de nutrientes pelas plantas. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. **Micorizas: 30 anos de pesquisas no Brasil.** Lavras: Editora UFLA, 2010. p. 153 – 214.

CARVALHO, A. M. X.; VALE, H. M. M.; CORDERO, A. F. P.; BARROS, N. F.; COSTA, M. D. Atividade microbiana de solo e de serapilheira em áreas povoadas com *Pinus elliottii* e *Terminalia ivorensis*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2709 - 2716, 2008.

CASTELLANO, M. A.; MOLINA, R. Mycorrhizae. In: LANDIS, T. D.; TINUS, R. W.; McDONALD, S. E.; BARNETT, J. P. **The Container tree nursery manual Agriculture Handbook 674.** Washington: US Department of Agriculture, Forest Service, v. 5, 1989. p 101 – 167.

COLOZZI FILHO, A. **Dinâmica populacional de fungos micorrízicos arbusculares no agrossistema cafeeiro e adubação verde com leguminosas.** 117 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

CONDORI, L. V. Efecto de las micorizas en el crecimiento inicial de coníferas tropicales. **Turrialba**, Turrialba, v. 14, n. 3, p 151 - 155, 1964.

CORREA, R. S. **Efeito dos atributos do solo na produtividade e qualidade da madeira de *Pinus caribaea* VAR. *hondurensis*.** 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2007.

COSTA, J.M.; OLIVEIRA, E.F. **Fertilidade do solo e nutrição de plantas.** Cascavel: COAMO/COODETC, 1998.

COSTA, M.D. **Isolamento e caracterização de estirpes monocarióticas de *Pisolithus* sp.** 149 f. Tese (Doutorado em Microbiologia Agrícola) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

CRUZ, G. C. S. Clima. In: MELO, M. S.; MORO, R.S.; GUIMARÃES, G. B. **Patrimônio natural dos Campos Gerais.** Ponta Grossa: UEPG, 2007. P. 59 - 72.

DESCHAMPS, J.; WRIGHT, J.; BLUMENFELD, S.; COZZO, D.; LAURIA, H.; PEREDO, H; SÁNCHEZ, J. V. **Patologia forestal del cono sur de America.** Buenos Aires: Orientación Gráfica, 1997.

DIAS JÚNIOR, H. E.; TRINDADE, A. V.; PEREIRA, J. M.; MUCHOVEJ, R. M. C. Efeito da inoculação de fungo ectomicorrízico na resposta de *Eucalyptus* spp. a Ca + Mg no solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 5, 1994, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 1994.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Rentabilidade econômica comparativa entre plantios florestais e sistemas agroflorestais com erva-mate, eucalipto, pinus e as culturas do feijão, milho, soja e trigo. **Circular Técnica**, n. 26, Colombo, 1997 a.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997 b.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectivas**. 2ª ed. Londrina: Editora Planta, 2006.

FEDERAÇÃO DOS PRODUTORES FLORESTAIS DE PORTUGAL. **Guia de Campo Cogumelos Silvestres**. Ondagrafe: Lisboa, 2008.

FONSECA, S.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; COSTA, L. M.; LEAL, P. G. L.; NEVES, J. C. L. Alterações em um latossolo sob eucalipto, mata natural e pastagem: I – propriedades físicas e químicas. **Revista Árvores**, Viçosa, v. 17, n.3, p. 271 – 288, 1993.

FREIRE, C. G.; CAMPOS, R. F. F.; OLIVEIRA, L. P. Levantamento de fungos ectomicorrízicos em floresta de *Pinus taeda* em Caçador – SC. **Revista Ignis**, Caçador, v. 1, n. 1, 2012.

GARBAYE, J. Competitivité de champignons ectomycorhiziens: premiers résultats et application à la selection de souches pour la mycorhization contrôlée du hêtre et du chêne rouvre dans le nord-est de la France. **Revue Forestière Française**, Nancy, v. 36, n. 1, p. 33- 43, 1984.

GEORGE, E. K.; HAUSSIER, G.; VETTERLEIN, E. G. ; MARSCHNER, H. Water and nutrient translocation by hyphae of *Glomus mossae*. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 70, p. 2130 - 2137, 1992.

GIACHINI, A. J.; OLIVEIRA, V. L. Ectomycorrhizal fungi in *Eucalyptus* and *Pinus* plantations in Santa Catarina (Southern Brazil), In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MYCORRHIZAS, 1., 1996, Berkeley. **Anais...**Berkeley: University of California, 1996. p.52.

GIACHINI, A. J.; OLIVEIRA, V. L.; CASTELLANO, M. A.; TRAPPE, J. M. Ectomycorrhizal fungi in *Eucalyptus* and *Pinus* plantations in southern Brazil. **Mycologia**, Lawrence, v. 92, n. 6, p. 1166 – 1177, 2000.

GIACHINI, A. J.; SOUZA, L. A. B.; OLIVEIRA, V. L. Species richness and seasonal abundance of ectomycorrhizal fungi in plantations of *Eucalyptus dunnii* and *Pinus taeda* in southern Brazil. **Mycorrhiza**, Bretenière, v. 14, p. 375 - 381, 2004.

GIBSON, F.; DEACON, J. W. Establishment of ectomycorrhizas in aseptic culture: Effects of glucose, nitrogen and phosphorus in relation to successions. **Mycological Research**, Cambridge, v. 94, p.166 - 172, 1990.

GONZALES, J. A. Z.; COSTA, M. D.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F.; BORGES, A. C. Acúmulo de ácido oxálico e cristais de cálcio em ectomicorrizas de eucalipto. II – Formação de cristais de oxalato de cálcio induzida por fungos ectomicorrízicos em raízes laterais finas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 555 – 562, 2009.

GRAUSTEIN, W.C.; CROMACK, K.; SOLLINS, P. Calcium oxalate: Occurrence in soils and effect on nutrient and geochemical cycles. **Science**, v. 198, n. 4323, p. 1252 - 1254, 1977.

GURGEL, F. E.; SILVA, B. D. B.; BASEIA, I. G. New records of *Scleroderma* from Northeastern Brazil. **Mycotaxon**, v. 105, p. 399 – 405, 2008.

HARLEY, J. L. Ectomycorrhizas as nutrient absorbing organs. **Proceedings of the Royal Society**, London, v. 203, p. 1 - 21, 1978.

HARLEY, J. L.; SMITH, S. E. **Mycorrhizal Symbiosis**. London: Academic Press Inc, 1983).

HASHIMOTO, M. O. **Avaliação de diferentes técnicas de extração de nutrientes do solo e das plantas de *Pinus taeda* L.** 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

INOUE, M. T. Ensaio comparativo para dimensionar as influências causadas pela inoculação de fungos micorrízicos em mudas de *Pinus taeda* L. em relação à quantidade de inóculo presente no solo. **Floresta**, Curitiba, v. 4, n. 1, p. 63 - 68, 1972.

JENTSCHKE, G.; BRANDES, B.; KUHN, A. J.; SCHRÖDER, W. H.; BECKER, S.; GODBOLD, D. L. The mycorrhizal fungus *Paxillus involutus* transports magnesium to Norway spruce seedlings. Evidence from stable isotope labeling. **Plant Soil**, Crawley, v. 220, p. 243 - 246, 2000.

JONGBLOED, R. H.; BORST PAUWELS, G. W. F. H. Effects of aluminium and pH on growth and potassium uptake by three ectomycorrhizal fungi in liquid culture. **Plant Soil**, Crawley, v. 140, p. 157-162, 1992.

JOHNSON, N. C.; GRAHAM, I. H.; SMITH, F. A. Functioning of mycorrhizal associations along the mutualism-parasitism continuum. **New Phytologist**, Lancaster, v. 135, p. 575 - 585, 1997.

JUVENAL, T. L.; MATTOS, R. L. G. O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 16, p. 3 – 30, 2002.

KABATA PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 2ª ed. Boca Raton: CRC, 1991.

KASUYA, M. C.; COSTA, M. D.; ARAÚJO, E. F.; BORGES, A. C.; MENDONÇA, M. M. Ectomicorrizas no Brasil: biologia e nutrição de plantas. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. Lavras: Editora UFLA, 2010. p. 153 – 214.

KRÜGNER, T. L.; TOMAZELLO FILHO, M. **Ocorrência de micorrizas em espécies de *Pinus* e identificação dos fungos associados**. São Paulo: IPEF, 1981 (circular técnica)

LAMPKY, J.R.; PETERSON, J.E. *Pisolithus tinctorius* associated with pine in Missouri. *Mycologia*, Bronx, v. 55, p. 675-678, 1963.

LASO GARICOITS, L. S. **Estado nutricional e fatores do solo limitantes do crescimento de *Pinus taeda* L. em Telêmaco Borba**. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1990.

LOPES, A.S. **Solos sob “Cerrado”: características, propriedades e manejo**. 2.ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1984.

LOPES, V. G., GRIEBELER, C.; SCHUMACHER, M. V.; Biomassa e comprimento de raízes finas (< 2,0 mm) na serapilheira de uma Floresta Estacional Decidual em Itaara - RS. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL, 4., 2008, Nova Prata. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2008. 1 CD ROOM.

LOPES, V. G. **Quantificação das raízes finas em um povoamento de *Pinus taeda* L., na região dos campos de cima da serra, RS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

LOPES, V. G. **Dinâmica nutricional em um povoamento de *Pinus taeda* L., Rio Grande do Sul**. 138 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M.; TORRES, M. A. V.; BACHER, L B. **Árvores exóticas no Brasil: madeiras, ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum de estudos da flora, 2003.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego, Academic Press, 1995.

MARTINS, A. P. L.; REISSMANN, C. B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. **Scientia Agrarias**, Curitiba, v. 8, p. 1 – 17, 2007.

MARTINS, I. L. **Análise nutricional de P em um povoamento de *Pinus taeda* L., submetido a um ensaio de omissão de nutrientes.** 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

MARX, D.H.; ARTMAN, J.D. Growth and ectomycorrhizae development of loblolly pine seedlings in nursery soil infested with *Pisolithus tinctorius* and *Thelephora terrestris* in Virginia. **Forest Service**. SE research note, Asheville, v. 256, p. 1 - 5, 1978.

MEIJER, A. A. R. **Preliminary list of the macromycetes from the Brazilian State of Paraná.** Boletim do Museu Botânico Municipal, Curitiba, n. 68, 2006.

MEIJER, A. A. R. **Macrofungos notáveis das florestas de Pinheiro-do-Paraná.** Colombo: Embrapa Florestas, 2008.

MELLO, A. H. **Qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* Hillex Maiden e *Acacia mearnsii* De Wild inoculadas com fungos micorrízicos.** 108 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

MELO, J. T.; RESCK, D. V. S. Retorno, ao solo, de nutrientes de serapilheira de pínus no cerrado do Distrito Federal. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 75**, Planaltina: Embrapa, 2002.

MENEGOL, O. **Índice de sítio e relação entre altura dominante e teores nutricionais das acículas em povoamentos de *Pinus elliottii* var. *elliottii* no segundo planalto paranaense.** 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1991.

MEYER, F. H. Physiology of mycorrhiza. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 86, p. 567 – 586. 1974.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo.** 2ª ed. Lavras: Editora UFLA, 2006.

MOTTA, A. C. V.; SERRAT, B. M.; REISSMANN, C. B. DIONÍSIO, J. A. **Micronutrientes na rocha, no solo e na planta.** Curitiba: Imprensa Universitária da UFPR, 2007.

OLIVEIRA, L. P. **Produção de inoculante, seleção e aplicação de fungos ectomicorrízicos em mudas de *Pinus taeda* L.** 87 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia e Biociências) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

- OLIVEIRA, V. L.; OLIVEIRA, L. P.; ROSSI, M. J. Ectomicorrizas no Brasil: diversidade de fungos e aplicação. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. Lavras: Editora UFLA, 2010. p. 153 – 214.
- POGGIANI, F.; MONTEIRO JUNIOR, E. S. Deposição de folhedo e retorno de nutrientes no solo numa floresta estacional semidecídua em Piracicaba (Estado de São Paulo). In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão, SP. Congresso Florestal Brasileiro, 6. **Anais**, 1990. v. 1. p. 596-602.
- PUTZKE, J.; PUTZKE, M. T. L. **Os Reinos dos Fungos**. Santa Cruz do Sul: Editora da UNISC, 1998.
- RAWLINGS, B. G. Some practical aspects of forest mycotrophy. **New Zealand forestry research notes**, Rotorua, v. 3, p. 3 - 9, 1958.
- REISSMANN, C.B. **Nährelementversorgung und Wuchsleistung von Kiefernbeständen in Süd-Brasilien**. Friburg i. Br. Alemanha, 1981.
- ROSLING, A.; LANDEWEERT, R.; LINDAHL, B. D; LARSSON, K. H.; KUYPER, T. W., TAYLOR, A. F. S; FINLAY, R. D. Vertical distribution of ectomycorrhizal fungal taxa in a podzol soil profile. **New Phytologist**, Lancaster, v. 159, p. 775 – 783, 2003.
- ROSLING, A. ROSENSTOCK, N. Ectomycorrhizal fungi in mineral soil. **Mineralogical Magazine**, v. 72, n. 1, p. 127 – 130, 2008.
- SANTOS, L. C. **Efeito do cobre na população de bactérias e fungos do solo, associação ectomicorrizica e no desenvolvimento de mudas de eucalipto e canafístula**. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.
- SCHNEIDER, T. **Crescimento e teores de B, Cu, Mn, Fe e Zn em *Pinus taeda* L., como resultado da adubação e calagem sob a técnica da omissão de nutrientes**. 51 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
- SCHOENHOLTZ, S.H.; MIEGROET, H.; BURGER, J.A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 138, p. 335-356, 2000.
- SHIMIZU, J. Y.; SEBBEN, A. M. Espécies de *Pinus* na silvicultura brasileira. In: SHIMIZU, J. Y. **Pínus na silvicultura brasileira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. p. 49 – 74.
- SILVA, I. R.; SMYTH, T. J.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Physiological aspects of aluminum toxicity and tolerance in plants. In: ALVAREZ V.V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, W.V.; COSTA, L.M. **Tópicos em ciência do solo**, SBCS, v. 2, p. 277 - 335, 2002.

- SILVA, I. S. **Alguns aspectos da ciclagem de nutrientes em área de cerrado (Brasília – DF): chuva, produção e decomposição de liter**. 87 p. Dissertação (Mestrado) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Brasília, Brasília, 1983.
- SILVA, M. A.; COSTA, M. D.; ROCHA, R. B.; BORGES, A. C. Formação de ectomicorrizas por monocários e dicários de *Pisolithus* sp. e interações nutricionais em *Eucalyptus grandis*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 917 - 929, 2007.a.
- SILVA, R. F.; SALLES, A. S.; LEAL, L. T.; LUPATINI, M.; MORO, C. A. J.; ANTONIOLLI, Z. I. Ectomicorriza na tolerância de mudas de canafístula *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. a solo contaminado por cobre. In: **XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Anais, Gramado, 2007.b
- SIQUEIRA, J. O.; SYLVIA, D. M.; GIBSON, J.; HUBBEL, D. H. Spores germination and germ tubes of vesicuyilar arbuscular mycorrhizal fungi. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 31, p. 965 – 972, 1985.
- SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal Symbiosis**. 2<sup>a</sup> ed. Londres, Academic Press, 1997.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004
- SOUZA, V. C.; SILVA, R. A.; CARDOSO, G. D.; BARRETO, A. F. Estudos sobre fungos micorrízicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n. 3, p. 612 - 618, 2006.
- SOUZA, E. L.; MELLO, A. H.; KAMINSKI, J.; ANTONIOLLI, Z. I.; ANACLETO, K. M.; SCHIRMER, K. Identificação da ocorrência de fungos micorrízicos em povoamentos de *Eucalyptus grandis* Hillex Maiden em solo sujeito a arenização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DOS SOLOS. **Anais...**, São Paulo, 2003.
- TAKACS, E. A. Inoculation artificial de pinos de regions subtropicales con hongos formadores de micorrizas. **IDIA: suplemento forestal**, Buenos Aires, v. 12, p. 41-45, 1964.
- TAYLOR, H. M. **Minirhizotron observation tubes, Methods in application for measuring rhizosphere dynamics**. Lubbock: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 1987.
- TEDERSOO, L.; KOLJAG, U.; HALLENBERG, N.; LARSSON, K. H. Fine scale distribution of ectomycorrhizal fungi and roots across substrate layers including coarse woody debris in a mixed forest. **New Phytologist**, Lancaster, v. 159, p. 153 – 165, 2003.

THEODOROU, C.; BOWEN, G. D. The Influence of pH and nitrate on mycorrhizal associations of *Pinus radiata* D. DON. **Australian Journal of Botany**, Collingwood. v. 17, p. 59 - 67, 1969.

TOMAZELLO FILHO, M.; KRÜGNER, T. L. Formação de ectomicorrizas e crescimento de mudas de *pinus caribaea* var. bahamensis em solo de viveiro infestado artificialmente com *Thelephora terrestris* e *Pisolithus tinctorius* no litoral sul da Bahia. **IPEF**, Piracicaba, n. 21, p. 21 – 37, 1980.

TOMAZELLO FILHO, M.; KRUGNER, T. L. Aspectos da associação micorrízica em *Pinus* spp. **IPEF**, Piracicaba, v. 3, n. 9, p. 1 – 32, 1982.

TREVISAN, E. **Classificação e Caracterização de Subhorizontes Orgânicos sob povoamentos de *Pinus taeda* L. na Região de Ponta Grossa - PR.** 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1992.

VALERI, S. V.; REISSMANN, C. B. Composição da mata florestal sob povoamentos de *Pinus taeda* L. na região de Telêmaco Borba, PR. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 19, p.23 - 29, 1989.

VAN TICHELEN, K. K.; COLPAERT, J. V.; VANGRONSVELD, J. Ectomycorrhizal protection of *Pinus sylvestris* against copper toxicity. **New Phytologist**, Lancaster, v. 150, p. 203 - 213, 2001.

VOZZO, J. A.; HACKSKAYLO, E. Inoculation of *Pinus caribaea* with ectomycorrhizal fungi in Puerto Rico. **Forest science**, Washington, v. 17, p. 239 -245, 1971.

WALLANDER, H.; JOHANSSON, L.; PALLON, J. PIXEL. Analysis to estimate the composition of ectomycorrhizal rhizomorphs grow in contact with different minerals in forest soil. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 39, p. 147 - 156, 2002.

WISNIEWSKI, C.; REISSMANN, C. B. Deposição de serapilheira e de nutrientes em plantios de *Pinus taeda* L. na região de ponta Grossa – PR. **Arquivo Biológico Tecnológico**, São Paulo, v. 39, p. 435 - 442, 1996.

ZOBEL, B. Loblolly pine: in retrospect. In: SYMPOSIUM ON THE LOBLOLLY PINE ECOSYSTEM (EAST REGION), 1982, Raleigh. **Proceedings**. Raleigh: North Carolina State University, College of Forest Resources, 1983. p. 1 – 6.

ZONTA, E.; BRASIL, F. C.; GOI, S. R., ROSA, M. M. T. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 7 – 52.